普通高等教育"十一五"国家级规划教材

地图学原理与方法

王家耀　孙　群　王光霞　江　南　吕晓华　编著

科学出版社

北　京

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

目　　录

前言

第一篇　概　论

第一章　地图 …… 1
　　第一节　地图的基本特性和定义 …… 1
　　第二节　地图的基本内容 …… 9
　　第三节　地图的分类 …… 17
　　第四节　地图的分幅与编号 …… 20
　　第五节　地图的功能 …… 27
第二章　地图学 …… 30
　　第一节　地图学的现代特征和定义 …… 30
　　第二节　地图学的学科体系和各主要学科的研究内容 …… 34
　　第三节　现代地图学的基本内容 …… 40
　　第四节　地图学与其他学科的关系 …… 44
　　第五节　地图学发展的历史与趋势 …… 46

第二篇　地图数学基础

第三章　地图投影的基本原理 …… 63
　　第一节　地图投影基本概念 …… 63
　　第二节　地图投影基本理论 …… 68
第四章　常用的几类地图投影 …… 83
　　第一节　方位投影及其应用 …… 83
　　第二节　圆柱投影及其应用 …… 94
　　第三节　圆锥投影及其应用 …… 99
　　第四节　高斯-克吕格投影及其应用 …… 107
第五章　地图数学基础设计和地图投影变换 …… 115
　　第一节　地图投影的选择 …… 115
　　第二节　地图定向与地图比例尺 …… 118
　　第三节　我国编制地图常用的地图投影 …… 122
　　第四节　地图投影变换 …… 124

第三篇　地图内容要素表示方法

第六章　地图信息源及其处理 …… 129
　第一节　地图信息源 …… 129
　第二节　地图资料（数据）处理 …… 130
　第三节　地图上地理内容要素的空间分布特征 …… 134
　第四节　地图上地理要素变量的量表方法 …… 135
第七章　地图符号设计 …… 139
　第一节　地图符号的基本概念与特性 …… 139
　第二节　地图符号的分类 …… 140
　第三节　地图符号的视觉变量 …… 145
　第四节　地图符号的功能 …… 163
　第五节　地图符号设计的基本方法 …… 166
第八章　地图整体效果设计 …… 172
　第一节　地图整体图形设计 …… 172
　第二节　地图色彩设计 …… 184
　第三节　地图注记及其设计 …… 193
第九章　普通地图内容表示方法 …… 202
　第一节　普通地图概述 …… 202
　第二节　独立地物的表示方法 …… 208
　第三节　自然要素的表示方法 …… 209
　第四节　社会经济要素的表示方法 …… 224
第十章　专题地图内容表示方法 …… 233
　第一节　专题地图的特点 …… 233
　第二节　专题要素的基本表示方法 …… 243
　第三节　专题要素的其他表示方法 …… 256
　第四节　专题要素各种表示方法的分析比较和综合运用 …… 262
第十一章　专用地图的特点及表示方法 …… 268
　第一节　海图特点及其表示方法 …… 268
　第二节　航空图特点及其表示方法 …… 290

第四篇　地图内容的制图综合

第十二章　制图综合的基本理论 …… 307
　第一节　制图综合的基本概念 …… 307
　第二节　制图综合应顾及的因素 …… 313
　第三节　制图综合的基本方法 …… 319

第十三章　地图内容各要素制图综合 …… 339
第一节　水系要素制图综合 …… 339
第二节　地貌要素制图综合 …… 350
第三节　植被要素制图综合 …… 358
第四节　居民地要素制图综合 …… 361
第五节　交通运输网要素制图综合 …… 373
第六节　境界要素制图综合 …… 377
第七节　专题信息的综合处理 …… 382

第五篇　现代地图制图的技术方法

第十四章　数字地图与地图数据库 …… 391
第一节　数字地图 …… 391
第二节　矢量数字地图 …… 394
第三节　栅格数字地图 …… 400
第四节　地图数据库 …… 403
第十五章　数字地图制图技术与方法 …… 410
第一节　数字地图制图技术的形成和发展 …… 410
第二节　数字地图制图系统 …… 413
第三节　数字地图数据处理与编辑 …… 414
第四节　地图数据的符号化 …… 421
第五节　纸质地图数字化生产与出版 …… 424
第十六章　多媒体电子地图与互联网地图 …… 429
第一节　多媒体电子地图 …… 429
第二节　电子地图的设计和制作 …… 432
第三节　互联网地图的特点和制作 …… 436

第六篇　地图分析与应用

第十七章　地图分析 …… 441
第一节　地图分析概述 …… 441
第二节　传统地图分析的基本方法 …… 442
第三节　数字地图分析的基本方法 …… 458
第十八章　地图应用 …… 474
第一节　地图在科学研究方面的应用 …… 474
第二节　地图在国民经济建设中的应用 …… 478
第三节　地图在军事上的应用 …… 480

主要参考文献 …… 483

第一篇 概　　论

第一章 地　　图

第一节　地图的基本特性和定义

地图学在其长期的历史发展中，逐渐充实和完善起来，成为一门拥有系统理论基础和现代技术手段的科学。在这个历史发展长河中，作为地图学研究主题的地图，在内容、形式和功能等方面都发生了巨大的变化。

一、地图的基本特性

地图是人类在社会实践中创造的认识地面的工具，又是人类认识地面的结果。在探讨地图的基本特性时，我们可以先从认识论的角度来看看地图发展的简单过程。

地图的发展密切地联系着人们对于地图认识的过程，也密切地联系着人们对地球表面认识的过程。在古代人类的生存斗争中，伴随着渔猎、耕作的实践活动，积累了相当丰富的地理知识。为了记载生活资料的产地，将它用图形模仿的方法记载下来，作为以后活动的指导，在学会用简单方法来描述他们的生活环境和事件的时候，地图就在生活实践的基础上，开始了最初的萌芽。最初，人们并没有完整的地图概念，他们在记载各种事物的过程中，应用了最直接、形象的表示方法，用各种图形表现各种事物和现象。因此，古代的图画、地图和文字实际上并没有什么显著的差别，只是发展到后来，通过无数经验的总结，才出现了抽象化的文字，而描绘地理环境的图画由于它描绘地面的独特的优越性终于发展成了地图，出现了有目的地制作地图的活动。

人类最初的制图活动仅限于经常活动的地区且目力所及的范围，在这个基础上，经过大量的对于个别和特殊地区的认识的积累，进一步地进行概括工作，认识了地区的共同本质，才扩大了地图的描绘对象，发展到当时人类已知世界的范围，出现了巴比伦人的“世界”地图和中国古代的“世界”地图。虽然它们都包含着大量神秘的与想像的内容，但是这种概括性的地图却引导着人们对地球的各

个地区进行新的探索，例如由于在托勒密的世界地图上扩大了欧洲到东方中国的距离，因而就在一定程度上促成了哥伦布等人敢于进行向西航行到达中国、印度的尝试，而在中途发现了拉丁美洲。以后，经过许多年代无数实际知识的积累和加工，才产生了较正确的世界地图。

地图内容的发展也是如此。由于地图是在人们的实践活动中产生的，原始地图大都服务于某一项专门的生产操作，所以最早的地图是“专门”地图，后来在很多“专门”地图中找到了一些共同的地形因素，才出现了以表示地势河川、居民地和道路为主的“普通”地图。在“普通”地图提供地面详细面貌的基础上，专门地图又发展、深化了。

从上面的叙述中，我们可以知道，地图是在人们不断认识的基础上发展起来的，它是人们认识周围客观环境和事物的结果，然而在认识世界的每一次深化过程中，又常常以地图作为依据，所以地图又是人们认识周围环境和事物的工具。

（一）地图平面与地球曲面之间的矛盾

当人们把地球表面（部分或全部）描绘到平面上来的时候，平面与曲面的矛盾就存在了。只不过，由于当时人类活动的范围有限，没有认识到这个问题而已。一方面，由于生产力发展和科学技术的进步，要求反映人们已知世界的范围，解决简单的距离、方位和比例尺问题；另一方面，由于初期的海上航行开始要求解决地球曲面与地图平面的关系问题，即由于航海的发展逐步扩大了眼界，发展了实用天文学，测量了经纬度，这时，人们开始想办法把经纬度绘在地图上，并以此为依据来标绘地理位置。于是出现了最初的投影方法。

初期的地图投影是以研究用几何方法构成地图上的经纬线格，主要在于模仿地球的形状。托勒密（约 90—168 年）在其《地理学指南》中提出的两种投影方法（圆锥投影和球面投影）就是这样的。到了墨卡托（1512—1594 年）时代，在航海事业和天文学发展的推动之下，相继出现了很多著名的投影方法，其中墨卡托投影在航海图上一直沿用到现在。但在当时还没有发明微积分的情况下，该投影也只能是从几何概念出发，利用三角函数进行计算绘制。

当人们发现地球曲面与地图平面之间存在着不可克服的矛盾（即不可能在没有任何变形的情况下把地球曲面平铺在平面上）时，就把注意力转到研究“变形”的问题上来了。因为“变形”是这对矛盾的具体表现，它是绝对的；而在地图上不产生变形是相对的，是有条件的。例如要想角度不变形就必然有面积变形，反之亦然。在认识到变形的绝对性以后，地图投影就以研究根据对地图上变形的要求为条件来确立两个面上坐标的转换方式为中心。在研究投影变形规律的过程中，促进了地图投影的发展。

多少年来，人们不知设计出了多少种投影来解决地球曲面与地图平面的矛盾，但它们都只是在一定的条件下得到了暂时解决，而当条件改变时，又要设计新的投影。因此可以说，只要平面和曲面在地图上构成一对矛盾，地图投影的研究就将会不断地发展。

地球曲面和地图平面之间的矛盾的具体解决方法，是随着人们对地球的形状和大小的认识上的不断深化而深化的。

地球的自然表面不但是一个不可展的曲面，而且是一个极不规则的曲面，不可能用数学公式来表达，也无法进行计算。所以，在地球科学领域，必须寻找一个形状和大小都很接近于地球的椭球体或球体来代替它。大地测量中用水准测量的方法得到的地面上各点的高程是依据大地水准面确定的，这个表面是假想大洋表面向大陆延伸而包围整个地球所形成的曲面。是人们进行测量作业的基准面。大地水准面虽然比地球的自然表面要规则得多，但还不能用一个简单的数学公式把它表示出来，这是因为大地水准面上的任何一点是与铅垂线方向相垂直的，而铅垂线的方向，又受地球内部质量分布不均匀的影响，使大地水准面产生微小的起伏，它的形状仍是一个复杂的表面。在这样一个复杂的表面上进行测绘成果的计算当然是不可能的。为了便于测绘成果的计算，选择一个大小和形状同大地水准面极为相近的旋转椭球面来代替，作为计算的基准面。它是一个纯数学表面，可以用一个简单的数学公式来表达。旋转椭球面虽是一个纯数学表面，但它仍然是一个不可展的曲面。为了将旋转椭球面描写成平面，必须将这个不可展的曲面上的点计算到平面上。为此，需建立地面点在旋转椭球面上的地理坐标（φ，λ）和它们在平面上的直角坐标（X，Y）之间的解析关系

$$\left.\begin{aligned} X &= f_1(\varphi,\lambda) \\ Y &= f_2(\varphi,\lambda) \end{aligned}\right\} \tag{1-1}$$

如果我们能够具体地建立 X、Y 和 φ、λ 之间的函数关系式，就可以依据地面点的（φ，λ）计算出它们在平面上的位置（X，Y）。这样就能按我们所需要的经纬线网格密度，把经纬线交点的平面直角坐标计算出来，并在平面上绘制出经纬线网格，作为绘制地图图形的控制。

地球曲面和地图平面之间点位的互相转换，实质上是曲面场和平面场之间的点位的数学转换。正是由于实现了这种点位的转换，才有可能将地面的各种物体和现象正确地描绘到地图平面上，或通过公式（1-1）化算方法将地面上的各种物体和现象映射到旋转椭球面上（数字地图环境下）才能保证地图图形具有可量度性，人们才能依据地图研究制图物体（现象）的形状和分布，进行各种量测。

解决曲面和平面矛盾的上述数学法则构成了地图的数学基础，这是地图的第一个基本特性。

（二）缩小、简化了的地图表象与实地复杂现实之间的矛盾

同地球曲面与地图平面之间的矛盾一样，自从人们将地面描绘到平面上来的时候，缩小、简化了的地图表象与实地复杂现实之间的矛盾就存在了。因为地图是缩小、简化了的，这就决定了地图表象与实地之间不可能没有差别。地图的这一基本矛盾，产生了地图内容的综合法则，即编绘地图时处理地图内容的原则和方法。

地图内容的综合法则包括两个基本的组成方面：一是地图内容的符号化；二是地图内容的选取、化简和概括。

地图内容的符号化，是地图制图运用“综合”概念的开始。所谓“综合”，实际上就是对事物的“抽象”，运用符号就是对地面物体（现象）的抽象。地图在其萌芽阶段是用图形模仿的方法记载最简单的事物，古代的地图和图画、文字实际上并没有什么差别，后来使用了象形符号，并逐步由象形符号过渡到几何图案符号，进而形成较完整的符号系统，通过符号的形状、尺寸和颜色及各种符号的组合表达地图内容及其相互间的联系。

符号及其组合是地图内容及其相互关系的具体表现形式。符号数量的多少，在一个时期内和某种程度上被看作是地图内容丰富与否的标志。但是，简单地增加符号数量的方法是不能解决缩小、简化了的地图表象与实地复杂现实之间的矛盾的。地图发展的历史表明，随着科学技术的发展和社会实践需要的提高，地图内容经历了一个由简单到复杂、由单一到完善的过程，而地图符号的数量却遵循着由少到多、由多到少的螺旋式上升的趋势。早期的地形图上（一般以法国1750～1789年完成的卡西尼地图作为第一批实测地形图），仅有以平面图形表示的大城市、城堡式的小居民区、各种线划符号表示的道路和点子表示的稀疏林区、不同粗细线划表示的河流；到了18世纪末和19世纪初，由于人们认识范围的扩大，认识对象的增多，以及对地图要求的日益增长，符号数量亦随之有所增加，其特点是小地物符号的大量应用。当各国军事地形图迅速发展起来以后，尤其是经过两次世界大战，各国地形图符号的数量有了急剧的增长，很多国家的地形图符号在几十年中增至数百个（如前苏联地形图符号的数量，若1924年为100个，1950年总数则达到了414个）。20世纪60年代以后，各国地形图开始走增强符号概括性的道路，以减少符号的数量，如我国地形图符号的数量由1958年的437个减少到1971年的167个，其中桥梁符号的数量1958年为14种，而1971年则概括为3种。这都充分说明增强符号的概括性、减少符号数量的发展趋势。

然而，增强地图符号的概括性，减少地图符号的数量，不能理解为地图内容的贫乏。相反，地图的内容总是不断丰富的。这就要求：一方面，不能无限制地

增加符号的数量，要提高符号的概括性；另一方面，又要赋予符号更广泛、更深刻的意义，以表示更丰富的地图内容。而要做到这一点，就必须研究地图内容的科学分类、分级，即对性质相近的物体和现象减少其类别，同类物体和现象减少其等级，并进而研究符号的构图规律。分类、分级本身就是“综合”。

因为地图符号是地图内容的具体表现，所以它具有地图语言的作用。制图者掌握地图符号的含义，使用符号把他对于现实世界的认识编绘成地图；用图者掌握地图符号的含义，通过判读符号构成对现实世界的认识。

地图符号实现两个基本功能：其一，单个符号指示地物的位置、种类和特征，即地物的位置信息和属性信息，不仅能根据需要显示那些形体虽小但却很重要的物体，而且可以表示那些肉眼观察不到的自然现象和社会现象；其二，符号的组合（系统）能表达地物的空间组合和相互联系，即给出单个符号所不能给出的信息。

地图上所能表达的图形总是有限的，所以即使是使用符号系统，也不可能将地面上的全部物体和现象都容纳在缩小的地图上，势必要进行选取、化简和概括。

人们在最初制作地图时就进行了综合。古代地图朴实的面貌就是综合的结果，其中也包含了选取和化简。当时的原则是“要什么画什么”，狩猎图、耕作图都是如此。到了后来，由于制图方法的改进，地图变的详细了，几乎发展到了“有什么画什么”，只是实在画不下了才舍掉一些东西，初期的地形图就是如此。到了近代，由于人们认识到了地图内容的综合是不可避免的，才进入到了有目的地进行综合的阶段，又开始“要什么画什么”了。但这并不是“开倒车”，而是螺旋式前进。

同地图投影解决地球曲面与地图平面的矛盾是有条件的一样，地图内容的综合法则解决缩小、简化了的地图表象与实地复杂的现实之间的矛盾也是有条件的。即在地图比例尺、用途、制图区域特点等条件一定的条件下，矛盾得到了暂时的解决，而条件一改变，就要产生新的地图表象与实地复杂的现实之间的矛盾，要解决这一新的矛盾，就要研究新的条件下的综合原则和方法。这种缩小、简化了的地图表象与实地复杂的现实之间的矛盾对立统一的过程，推动了综合理论和方法的发展，经过长期理论研究和生产实践经验的积累，建立了系统的综合理论，数学方法在制图综合中的应用受到了普遍的重视，使之成为一种科学的制图方法。

上述解决缩小、简化了的地图表象与实地复杂的现实之间的矛盾的综合法则，构成了地图内容的地理基础，这是地图的第二个基本特征。

以上我们从两个方面分析了地图与实地这一对基本矛盾。“矛盾的两个方面中，必有一方面是主要的，其他方面是次要的。其主要的方面，即所谓矛盾起主

导作用的方面。事物的性质，主要是由取得支配地位的矛盾的主要方面所规定的。”（《毛泽东选集》合订本，第 310 页）。地图的基本特性是由地图表象与实地这一对基本矛盾的主要方面——地图所规定的，这就是构成地图数学基础的数学法则和构成地图内容的地理基础的综合法则。

地图的数学法则和综合法则分别完成不同的任务，但它们又不是各自孤立的。以符号的科学组合表示的地图内容，是以地图的数学法则作为控制基础的，地图上的点、线、面状地物的位置都服从公式（1-1）。正因为如此，地图上以各种符号的科学组合所表示的地理内容，才能以严格的数学基础来反映实地物体（现象）的地理分布及其相互联系的空间结构特征。

二、地图的现代特性

随着现代科学技术的发展，地图除前述的基本特性外，还出现了一些新的特征，即地图的现代特性。

（一）地图表现形式的多样化特性

用符号系统表示制图对象，即地面物体和地理现象及其空间分布特征和相互关系，这是地图的基本表现形式。但是，电子计算机问世后，随着计算机图形学、地图数据库和空间信息可视化技术的发展，数字地图、电子地图和多媒体电子地图出现了，地图的表现形式呈现出多样化的特性。

传统的纸质地图，具有一种特殊的、区别于并在许多方面优于自然语言的视觉感受效果。地图作用于人的视感觉（视觉）器官，并经过感觉、知觉、表象的认知过程，获得对地理空间环境的认识。地图虽是客观世界的抽象化、符号化表达，但符号对人的视觉具有直观性。地图作用于人的视觉器官，产生视感觉即视觉，人们借助于视觉感知事物的各种不同属性，如符号的颜色、形状、大小、位置等。各种视觉的综合产生视知觉即知觉，它是客观事物整体在人脑中的反映。视知觉和视感觉都是当前地图通过符号在人脑中的反映，其差别在于：视感觉是对地图符号的个别属性（如颜色、形状、大小、位置等）的反映；而视知觉则是对地图符号的各种属性、各个部分及其相互关系的综合的整体的反映。在视知觉的基础上产生表象即印象，在地图学中也称为“心象”，它通过回忆、联想再现出来。它与视感觉、视知觉不同，是在过去对同一事物或同类事物多次视感知的基础上形成的，具有一定的间接性和概括性。

数字地图，是地图的数字化形式。以磁介质或光介质存储在地图数据库中，它是计算机可视而人眼不可直接可视的，不过可以在地图符号库的支持下通过绘图输出、激光胶片输出或计算机屏幕显示的形式转换为人眼直接可视的形式。从应用的角度讲，数字化形式的地图比起传统纸质的符号形式的地图要灵活得多。

电子地图，是数字地图在计算机屏幕上的符号化显示，是计算机条件下的空间信息可视化，是人眼直接可视的，包括二维、三维电子地图。

多媒体电子地图，是集图形、图像、文本和声音于一体的电子地图，它的内容更丰富，更易于被普通用户所接受。

数字地图、电子地图、多媒体电子地图是目前地理信息系统中使用最多也是效果最好的。

（二）地图作为客观世界模型的特性

把地图作为客观世界的模型这一见解，使模型理论和技术在地图制图中得到普遍应用，使地图制图进入更加严密的理论研究和模型实验阶段。

根据模型理论，地图可以看作是客观世界的物质模型和抽象模型。

地图作为客观世界的物质模型，可以是各种比例尺的地图。人们可以利用各种比例尺的地图扩大自己的视野，看到广阔地域上的空间联系；还可以把各种比例尺地图作为进行地面模拟实验的工具，在地图上量算位置、距离、方位、坡度、通视、面积和体积等以代替实地量测和观察。

地图作为客观世界的抽象模型，它几乎具有抽象模型中的概念模型、模拟模型和数学模型的特点。

概念模型可以分为形象模型和符号模型。形象模型，是应用人的思维能力对客观世界进行简化和概括，用自然语言来表达，如交通运输可分为陆上交通、水上交通、空中交通和管线运输，其中陆上交通进一步分为“铁路”、“公路”，而“公路”则再进一步分为“国道”、“省道”、“县道”等；符号模型，是借助于专门符号和图形，按一定形式组合起来去描述前述概念模型即客观世界。正因为如此，所以有人把地图称为“形象-符号模型”。

地图作为模拟模型，如用等高线或分层设色表示实际地面的高程分布和各种地貌类型、形态及其组合，用晕渲法表示地面高低起伏和斜坡陡缓，增强立体效果。这些都是实际地形的模拟。

地图作为数学模型，是最典型的抽象模型。地图是可以用数学形式来描述的，包括空间点位向平面转换的数学模型、地图逻辑数学模型（地图模型的逻辑数学描述）、地图内容要素分布特征的数学模型、地图图形空间关系模型、地图数字模型、地图制图综合的数学模型，等等。

（三）地图信息的多维动态特性

从空间信息科学的意义上讲，地理信息是客观世界物质（自然和社会）存在和运动形式的描述，当人们利用地图来研究地面自然和社会要素（现象）的分布及其相互联系与制约时，总是要将它们置于一定的空间和时间中。空间和时间是

物质存在的固有性质，而属性则是地理对象（实体）相互区别的标志。所以，地图信息是由它所描述的对象的空间、时间、属性三元素构成的信息元组，可用（x，y，z，t，α）的形式来表示。其中（x，y，z）表示空间维，t代表时间维，α代表对象的属性维，而且属性不一定只有一个（α_1），可能有许多（α_2，α_3，…，α_n）。如居民地作为地图描绘的对象，有人口数、行政意义、国民经济产值、民族、宗教及其他众多属性。因为空间维是三维的，属性维是多维的，时间维本质上是一维的，但可进行多维综合分析，如有事件发生时间、数据库时间和地图制图时间，而且时间维还是动态的，表示制图对象随时间变化的特征。所以，我们认为地理信息具有多维动态特性。传统的纸介质地图是二维的，传统的地理信息系统也是二维，至多是二点五维的。在数字制图环境下，我们可以进行多维制图即多维地图信息可视化，加之涉及时间维并采用动画手段，可以产生地图动画等。这是地图的一个重要现代特性。

三、地图的定义

根据前述地图的基本特性，我们可以给出地图的如下定义：

地图是根据构成地图数学基础的数学法则和构成地图内容地理基础的综合法则将地球表面缩绘到平面上的表象，它反映各种自然和社会现象的空间分布、组合、联系及其在时间中的变化和发展。

构成地图数学基础的数学法则是任何类型的地图都不可能缺少的。构成地图内容地理基础的综合法则，从广义上讲，包括符号系统和制图综合，符号化是地面物体和现象的抽象化表示，制图综合则是地图内容的选取、化简和概括。因为使用符号就意味着综合，所以我们把符号系统和制图综合统称为综合法则。由于各种自然和社会现象在地图上的符号化表示都是精确定位的，所以，地图上的符号相应地反映各种自然和现象的空间分布特征，地图上符号的组合反映实地上各种自然和社会现象的组合（区域）特征，地图上各种符号之间的关系反映实地各种自然和社会现象之间的联系。同一地区不同时间的时间序列地图当然能反映各种自然和社会现象随时间的变化和发展，这是容易理解的；就是在一个时间的一幅地图上，也可以用统计曲线图的形式表示某种自然和社会现象随时间的变化和发展。

显然，上述地图定义中所说的“地图”是用符号表示制图对象的。在对地图有了这样一个基本的认识后，还应该看到可能使人们的认识进一步深化的某些因素。因为随着人类社会实践的深化和科学技术的发展，地图的内容和形式已经发生了许多变化。例如：在纸介质上用符号表示制图对象已不再是地图的唯一形式，还有数字形式、屏幕电子地图形式和多媒体电子地图形式等，这就是前面所说的地图表现形式的多样化特征；地图制图不再是凭经验，已经进入模型制图时

代，特别是数学模型的应用极大地提高了地图的科学性，这就是如前所述的地图作为客观世界模型的特征；地图不再只是二维的、静态的，还可以表示多维、动态信息，这就是前述的地图的多维动态特征，等等。这些都将使人们对地图的认识有所前进。

据此，我们可以给出如下现代地图的定义：

地图是根据由数学方法确定的构成地图数学基础的数学法则和构成地图内容地理基础的制图综合法则记录空间地理环境信息的载体，是传递空间地理环境信息的工具，它能反映各种自然和社会现象的多维信息、空间分布、组合、联系和制约及其在时空中的变化和发展。

这是一个更能反映地图的现代特征的地图定义。第一，指明了构成地图数学基础的数学法则和构成地图内容地理基础的制图综合法则，都是由数学方法特别是现代数学方法确定的，在深层次上揭示了地图作为模型的特征。第二，强调地图是记录空间地理环境信息的载体和传递空间地理环境信息的工具，“记录”可以是符号形式，也可以是数字形式、多媒体形式；载体不一定是纸介质，也可以是磁介质或光介质，记载和传递的是信息，这有更广泛、更现代的意义。第三，强调地图能反映各种自然和社会现象的多维和动态特性，突破了二维平面地图和静态的局限性，突出了现象的时间序列变化预测和空间分布趋势。

当然，我们也应该指出，对上述现代地图的定义还需要进一步充实和完善。

第二节　地图的基本内容

地图的基本内容，也就是地图的基本构成要素。一般地说，地图由以下基本要素构成：

一、数学要素

数学要素指数学基础在地图上的表现，是一切地图所必须具备的最基本的地图要素。这是因为地图的精度首先是由地图的数学基础决定的，地图上表示各种地理要素的图形构成的几何规律和几何性质取决于数学基础。

地图的数学要素包括与地图投影有联系的坐标网、比例尺和测量控制点等。

（一）坐标网

地图投影的实质可以用地面点在旋转椭球面上的地理坐标（φ，λ）和它们在平面上的直角坐标（X，Y）之间的解析关系式（1-1）来表达（见第一节），它们在地图上的表现形式则是坐标网（或制图网），分为平面直角坐标网和地理坐

标网。

坐标网是制作地图时绘制地图内容图形的控制网，利用地图时可以根据它确定地面点的位置和进行各种量算。

平面直角坐标网亦叫方里网（或公里网），用于准确指示点位，根据地图传达命令，快速量测方向和计算距离。我国地形图采用高斯-克吕格投影（大于或等于1∶50万），图上的平面直角坐标网系根据高斯平面直角坐标系构成（图1.1）。根据地图用途规定，仅在1∶1万～1∶25万比例尺地形图上才绘制平面直角坐标网，不同比例尺地形图上的平面直角坐标网的网格大小（边长）都有相应规定。

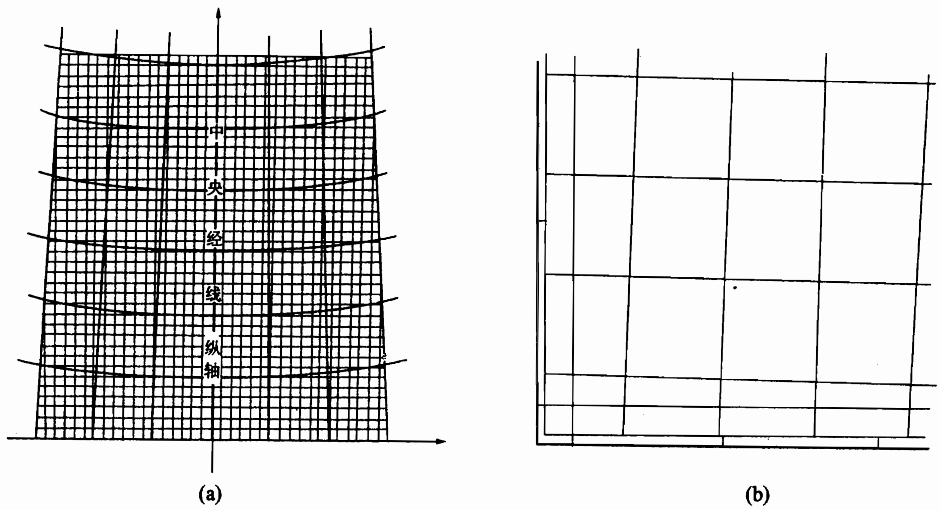


图1.1　平面直角坐标系的构成（a）及其在地形图（1∶5万）上的表示（b）

地理坐标网又叫经纬线网，用于确定地面点的地理坐标。

地理坐标具有深刻的地理学含义。经线相应于南北方向，纬线相应于东西方向。这些方向在地面上可以确定，在野外使用地图时可用其判定方位。地理坐标网的这种性质对于地形图尤其重要。

由于地图投影的不同，地图上的地理坐标网的构成形状是不一样的。在1∶2.5万～1∶5万比例尺地形图上，内图廓线即是经纬线，图廓的四个角点注有经纬度数值；此外，在图廓的四周绘有间隔为1分的经纬线短线（分度带），将两对应边具有相同经纬度值的分点连接起来，即构成地理坐标网。在1∶25万～1∶100万比例尺地形图上，除内图廓为经纬线外，图内也须按规定间隔（经差和纬差）绘制经纬线。此外，在内图廓线和图幅的经纬线上还按规定间隔用短线等分经纬线（图1.2）。这样做的目的，是要便于在纸介质地图上量测地面任意点的地理坐标。

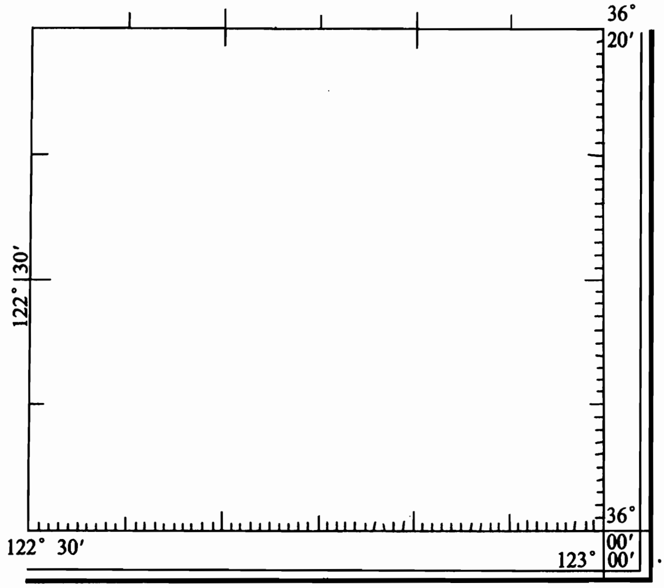


图 1.2 地形图上地理坐标网的表示（以 1∶50 万为例）

（二）地图比例尺

地图比例尺是图上线段与该线段在椭球面上的平面投影的长度之比。由于地图投影必然会产生变形，所以严格地说，地图上各点的比例尺（称为局部比例尺）都不相同，同一点的不同方向的比例尺也不一样（等角投影地图上，各点的比例尺不同，但同一点不同方向的比例尺相同），只是在平面图（地球表面有限地区的大比例尺地图）上的比例尺可以视为固定不变的，因为此时可以不考虑地球的曲率。在地图上，通常注出统一的比例尺数值，这就是主比例尺或一般比例尺，实际上是投影到平面上的地球椭球模型的比例尺。对于实际上投影变形很小的地形图及长度变形很小的小比例尺地图来说，注明地图的主比例尺就够了。而对于包括大区域及主比例尺与局部比例尺差别甚大的地图，最好能指出保持主比例尺的一些经纬线网格点或线。这一般是在地图图廓外的辅助要素中给出。

（三）测量控制点

测量控制点是测图和制图的控制基础，它保证将地球的自然表面转换到地球椭球面，并进一步投影到平面上，使地图上的地理要素对坐标网具有正确位置。

测量控制点的位置和高程是用精密仪器测量计算的，现在可以依赖全球卫星定位系统（GPS）利用 GPS 接收机直接测得，具有很高的精度。

测量控制点包括三角点、埋石点、水准点、独立天文点等。在大比例尺地形

图上，分别以相应的符号表示；在 1∶25 万和 1∶50 万比例尺地形图上只表示三角点和独立天文点，其他按高程点表示；在更小比例尺地图上都按高程点表示。

三角点，包括国家等级的三角点及导线点；埋石点，系地形控制点、军用控制点和精度低于国家等级的三角点符号；独立天文点，是用天文测量方法测得天文经、纬度的控制点，测有大地坐标（大地经纬度）的天文点用三角点符号表示。

二、地理要素

地理要素是任何一种地图的主要组成部分，包括地图上所表示的自然和社会经济现象及其分布、性质和联系，有时还要表示其变化和发展。

地理要素包括自然地理要素、社会经济要素及其他要素。

（一）自然地理要素

自然地理要素包括水系、地貌和土质、植被等。

1. 水系要素

水系要素是一切地图最基本的要素之一，它对地图内容的其他要素起着控制作用。

地图上表示的水系要素包括海岸（海岸线、沿岸地带——后滨、潮浸地带——干出滩、沿海地带——前滨）、湖泊、水库及池塘、河流、运河及沟渠。

2. 地貌要素（含土质）

地貌是地图的基本要素之一。地图上表示的地貌要素包括陆地地貌和海底地貌。

陆地地貌，指的是陆地部分地面高低起伏变化和形态变化的特点。包括：地貌的基本形态（用等高线表示）；劣地形或微地形，如石灰岩溶斗、岩峰、崩崖、滑坡、冲沟、陡崖、梯田坎、露岩地、陡石山、冰塔等冰川微地形、沙地地貌（用符号表示）等。

海底地貌，指的是海洋部分海底高低起伏的变化、形态特点和海底底质。

地图上表示的土质，主要指沼泽地、沙砾地、戈壁滩、石块地、小草丘地、残丘地、盐碱地、龟裂地等。

3. 植被要素

植被是地表植物覆盖层的简称。地图上表示的植被要素可以分为天然的和人工的两大类。

天然植被，主要包括森林、矮林、幼林、疏林、竹林、灌木林和草本植被。

人工植被，主要包括经济作物地、果园、苗圃、稻田和旱地。

（二）社会经济要素

社会经济要素包括居民地、交通运输网、境界及行政中心、经济标志等。

1. 居民地

居民地是人类居住和进行各种活动的中心场所，是地图的重要地理要素之一。

地图上应表示居民地的类型、形状、行政意义和人口数、交通状况和居民地内部建筑物的性质等，以反映出居民地所处的政治经济地位、军事价值和历史文化意义。

2. 交通运输网

交通运输是来往通达的各种运输事业的总称。地图上表示的交通运输网包括陆上交通、水路交通、空中交通和管线运输。

陆上交通即通常所说的道路，包括铁路、公路和其他道路。

水路交通分为内河航线和海洋航线。

空中交通在地图上是通过机场符号体现的，一般不表示航线。

管线运输包括高压输电线、石油及天然气管道等。

3. 境界及行政中心

地图上表示的境界分为政区境界和其他境界两类。

政区境界包括政治区划界和行政区划界。政治区划界主要指国家领土的范围，其界线即为国界；有些国家之间存在着争议地区，图上则有国界和未定国界之分；地区界也是一种政治区划界线，例如巴拿马运河区界线。行政区划界是指国内行政区域的划分，其界线统称为行政区划界，我国的行政区划界分为省（自治区、直辖市）界、省辖市（自治州、盟）界、县（自治县、旗、市）界等。

其他境界主要指一些专门的界线，如停火线、禁区界、旅游和园林界等。

行政中心是与政治区划和行政区划相对应的。例如我国的行政中心有首都、省（自治区、直辖市）府、省辖市（自治州、盟）府、县（自治县、旗、市）府等。

4. 经济标志

地图上表示的经济标志是反映地区经济发达程度的重要形式，主要包括各种工业（如工厂、发电厂、变电所、石油井、盐井、天然气井、矿井、露天矿、采掘场、窑等）和农业（如水车、风车、水轮泵、饲养场、打谷场、储草场等）标志。

（三）其他要素

地图上除表示自然地理要素和社会经济要素外，还表示一些科学（如重要科

学观测台站等)、文化（如学校等)、卫生（如医院等)、历史（如革命烈士纪念碑、牌坊、重要文物、长城等及其他）等标志。

三、辅助要素（图廓外要素）

在地图的图廓外，除注明图名、图号（图幅编号)，还配置有供读图用的大量工具性图表和说明性内容，统称为地图的辅助要素。它分为读图工具和参考资料。

(一) 读图工具

读图工具包括图例、图解比例尺、坡度尺、三北方向图、图幅接合表、政治行政区划略图等内容。

1. 图例

图例，即地图符号表和必要的说明，包括地图上用的全部符号。通过图例，可以了解地图上表示的各种地理要素。

图例通常位于图边（我国地形图的图例位于东图廓外）或图廓内的空白处(小比例尺挂图、专题地图)。

2. 图解比例尺

地图上除注出数字比例尺（如 1∶50000）外，还配置有图解比例尺。

图解比例尺是供图上量测距离用的，分为直线比例尺（地形图，如图 1.3）和复式比例尺（小比例尺地图，如图 1.4)。图解比例尺一般配置在地图（地形图）的南图廓外或图廓内的空白处（小比例尺地图，与图例等配置在一起)。

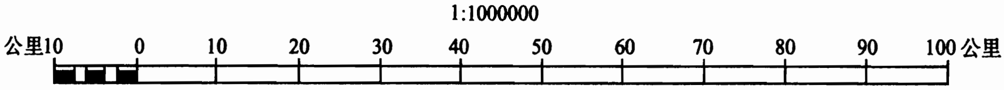


图 1.3　我国地形图上的图解比例尺及数字比例尺

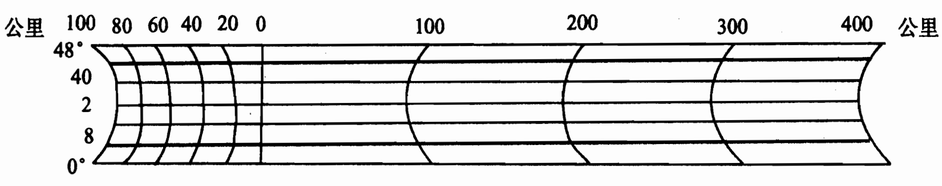


图 1.4　双标准纬线等角圆锥投影的纬线比例尺

3. 坡度尺

地图上的坡度尺供图上量测坡度之用。一般只在大比例尺地图上才配置坡度尺，它可以量测一组等高线（两条或六条）之间的坡度大小（图 1.5)。

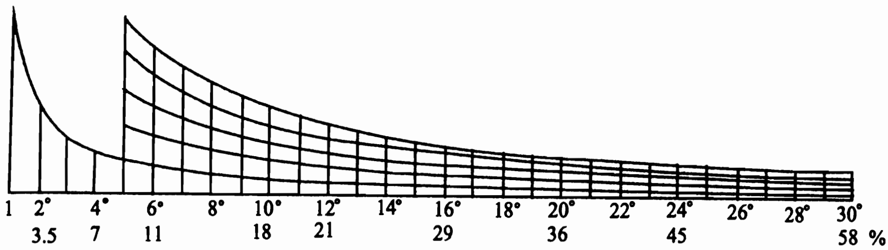


图 1.5 我国 1∶5 万地形图上的坡度尺

4. 三北方向图

为了判明地图上的真北方向、坐标北方向和磁北方向，在大比例尺地形图上都附有“三北”方向图，说明“三北”方向的相互关系，便于用图。图 1.6 是我国地形图上的三北方向图，一般配置在南图廓外。

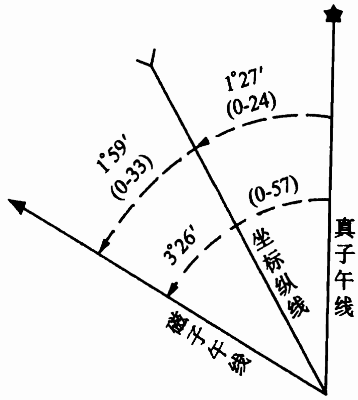


图 1.6 我国地形图上的三北方向图

5. 图幅接合表

凡分幅地图，都附有图幅接合表，以说明与该图幅相邻图幅的名称和编号。我国地形图的图幅接合表只标注邻图幅的图名，邻图幅的图号分别注记在外图廓线上（图 1.7）。

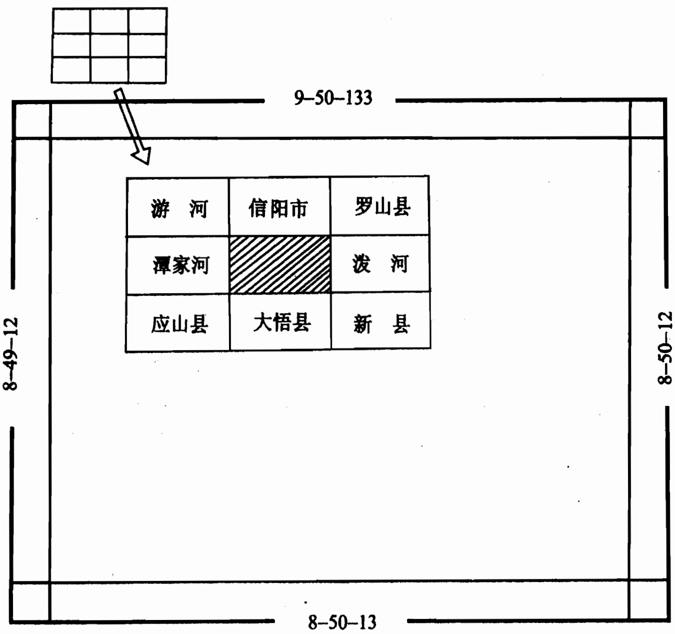


图 1.7 图幅接合表

6. 政治行政区划略图

政治行政区划略图主要反映图幅所描绘地区的政治行政归宿。我国地形图上一般用注记分别在内外图廓之间注出相应的国名或行政区划名称，只是在 1∶50 万或更小比例尺地形图上才附有政治行政区划略图（图 1.8）。

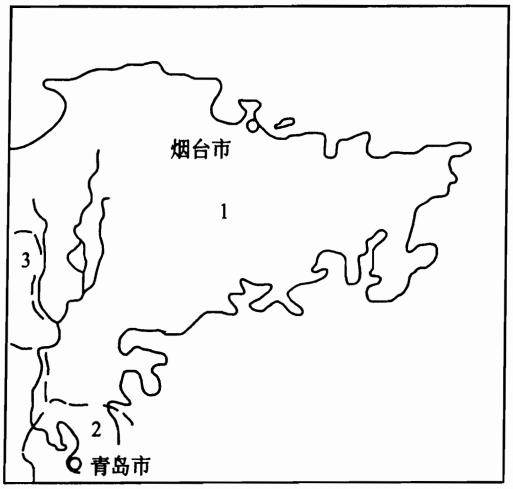


图 1.8　行政区划略图

(二) 参考资料

参考资料，系指一些说明性内容，如编图及出版单位、成图时间（编图及出版时间）、地图投影（小比例尺地图）、坐标系、高程系、资料说明和资料略图（图 1.9）等。

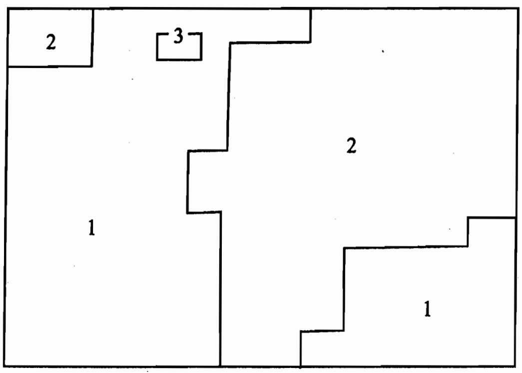


图 1.9　资料略图

第三节 地图的分类

随着社会生产力的发展、国民经济和国防现代化建设需求的增强及人们认识客观世界的不断深入，地图的应用越来越普遍，选题范围越来越广泛，种类越来越多，数量越来越大。因此，有必要对种类繁多的地图加以分类。

科学的地图分类，应有利于研究各类地图的性质和特点，并发展地图的新品种；有利于有针对性地组织与合理安排地图的生产；有利于地图编目及其存储，便于地图的管理和使用；在地图资料服务中引用自动化手段后，地图分类对于处理和检索地图资料、地图的网上申领具有重要意义。

地图可以按照许多标志进行分类，例如地图的主题（内容）、比例尺、制图区域和地图用途。

同任何科学的分类一样，地图的分类应遵循一系列逻辑原则。例如：必须按照由总概念（类）到局部概念（亚类、属和种）的次序，即由较广义的概念向较狭义的概念过渡；每一分类等级必须采用固定的分类标志，即一个分类等级不能同时采用两种或两种以上的分类标志；上一分类等级应包含下一分类等级的总和。

一、地图按主题（内容）的分类

地图按主题（内容）首先分为普通地图和专题地图。

普通地图是以相对平衡的详细程度表示水系、地貌和土质、植被、居民地、交通运输网、境界等基本地理要素的地图。它比较全面地反映制图区域的自然环境、地区条件和社会经济的一般状况，也可以反映出自然、社会经济等方面的相互联系和影响的基本规律。

专题地图是根据专业方面的需要以一种或几种地理要素为主题的地图。作为地图主题的要素表示的很详细，而其他要素则视反映主题的需要，作为地理基础有选择的表示。

作为专题地图主题的要素，可以是普通地图上有的，也可以是普通地图上没有但属于专业部门特殊需要的内容。例如：行政区划图的主题是居民地的行政等级和境界，它们是普通地图上有的内容；工业经济图上表示的诸如工厂的生产能力、各种经济指标等则是普通地图上没有的内容。

根据地理学和地球科学的一般原则，专题地图按其内容性质再分为自然现象地图（自然地理图）和社会现象地图（社会经济地图）。这两类专题地图还可以进一步按属和种的概念划分。自然现象地图可进一步分为普通自然地理图、地质图（地层图、构造图、岩相图、第四纪沉积图、水文地质图、地球化学图、矿产

图、地震图、火山图等、……)、地球物理图(重力图、磁力图)、地势图(测高图、测深图、形态测量图、形态图、地貌图)、气象与气候图、海洋图、水文图(陆地水文)、土壤图、植被图、动物图等。社会现象地图可进一步分为人口图(人口和移民分布图、人口性别及年龄和迁徙图、人种和人类图、社会和职业构成及就业图等)、经济地图(自然资源及其经济评价图、工业图、农业和林业图、交通和运输图、通信联络图、商业与财政图、普通经济图等)、服务地图(教育与科学图、文化图、旅游图、卫生保健图、体育运动图、生活与公共设施图等)、政治与行政区划图、历史地图等。

关于地图按主题(内容)分类,还有几种观点是需要提及的。

有的主张增加另一类地图即工程技术图,它包括工程勘测图、规划设计图、土地利用图、工程施工图、海洋和内河航行图、航空图、宇航图等。不过,此时地图分类的标志已不只是地图主题(内容),而多少趋向于按地图用途分类了,这就破坏了地图分类的逻辑原则。

也有的认为在地图按主题(内容)分类时应区分出"边缘作品",即属于普通地图和专题地图之间的一类地图,如交通图等。这些地图一般都有专门性的名称,有确定的主题,但是它们在内容及其表示方法上和普通地图却很少有重大的差别。地图的这种区分,揭示了其过渡性的特点,对认识地图的性质和规律,发展新的地图品种具有一定意义。但是,从地图分类的角度看,它们仍可明确地属于普通地图或属于专题地图,因此没有必要单独区分出来。

还有的建议区分出一种中间类型的地图,即自然和经济地图,它综合反映自然和社会经济现象。实际上确实存在这类地图,但是作为一种分类方法会给地图分类的实际工作带来困难。例如,地质图属于自然现象地图,但是矿产图有时却具有工业资源的特征,显然属于经济地图,因此可以划归为社会经济地图。所以没有必要区分出中间类型的地图来,因为几乎所有的社会经济地图都表示这种或那种自然要素,特别是水系要素。

二、地图按比例尺分类

地图按比例尺分类是一种习惯上的分类方法,它的意义在于地图比例尺影响着地图内容的详细程度和使用特点。由于比例尺不能直接体现地图的内容和特点,它不能单独作为地图分类的标志,一般作为按地图主题分类的辅助标志。

就普通地图而言,在我国按比例尺可将其分为地形图与地理图。

地形图是详细表示地面各基本要素的普通地图。它有规定的比例尺系列(1∶1万、1∶2.5万、1∶5万、1∶10万、1∶25万、1∶50万、1∶100万),统一的测制编绘规范和图式,列入国家建设和国防建设的计划,由国家和军队组织生产,并由此而产生保密性。

地形图按比例尺分为大比例尺地形图（大于或等于1∶10万）、中比例尺地形图（1∶25万，1∶50万）和小比例尺地形图（1∶100万）。

地理图是比例尺小于1∶100万的普通地图。它们的内容比较概略，但主要目标很突出，强调反映各要素的基本分布规律。地理图没有固定的比例尺系列（最常见的有1∶150万、1∶200万、1∶300万、1∶400万、1∶500万、1∶1000万等），也没有统一的规范和图式。

其他国家可能有另外的按比例尺分类的等级和术语。例如：前苏联将地图分为地形图（大于1∶20万）、地形一览图（1∶20万～1∶100万）、一览图（小于1∶100万）；而法国则分为甚大比例尺（大于1∶1000）、大比例尺（1∶1000～1∶2.5万）、中比例尺（1∶2.5万～1∶10万）、小比例尺（1∶10万～1∶50万）、甚小比例尺（小于1∶100万）等5种比例尺等级。

三、地图按制图区域分类

地图按制图区域分类，就是按地图所包括的空间加以区别。根据地图分类的逻辑原则，地图按制图区域分类时，必须坚持由总体到局部的原则。据此，表示全球的地图属于第一类，其次是表示各大洲和各大洋的地图。洲地图首先按最大部分（即大陆）划分，在大陆之内地图可按政治行政区划或自然地理区划两种方法进一步划分。

地图按政治行政区划分类时，首先将地图按国家划分，然后每个国家按其一级行政区划区分，如果有必要再按较低一级的行政等级划分。在我国，首先是全国地图、省（自治区、直辖市）地图，然后是各省的市地图、县（市）图等。

地图按自然地理区划分类的情况不多，因为一般说来，地图是按政治行政区划限定的制图区域编绘的。当然，按自然地理区划编绘地图的情况也是有的，如青藏高原地势图、黄河流域地图等。

大洋图依次按大洋、大洋流域、海、海湾和海峡划分。

四、地图按其用途分类

地图的用途对地图的主题（内容）、比例尺和表示方法都有一定影响。地图按其用途分类，就是按供一定范围的读者使用以及用于解决特定问题将地图区分为各种“专门地图”。

按用途可将地图分为军用地图和民用地图。

军用地图可以进一步划分为战术图、战役图、战略图，或者分为军用地形图、协同图，以及各种军事专用地图（如航空图、航海图等）。民用地图可以进一步分为国民经济与管理地图（如自然条件和资源调查与评价图、领航图和道路图等），教育、科学与文化地图（如教学地图、科学参考图、文化教育图、旅游

地图等）。

一般地说，许多地图都具有多方面的用途（如地形图），因此地图按用途分类在实际使用上受到一定限制，除非那些有明确用途的地图（如教学地图、旅游地图等）。

地图除按上述主题（内容）、比例尺、制图区域和用途分类外，还可以按使用方式、出版方式、色数、存储介质等进行分类。按使用方式，地图可分为桌上用图、挂图、野外用图；按出版方式，地图可分为单幅图和地图集；按印刷色数可分为单色图和多色图；按存储介质可分为纸质地图、胶片地图、丝绸地图、数字地图、电子地图等。

第四节　地图的分幅与编号

对于一个确定的制图区域，如果要求内容比较概略，就可以采用较小的比例尺，有可能将整个制图区域绘制在一张图纸上；如果要求内容表示详细，就要采用较大的比例尺，这时就不可能将整个制图区域绘制在一张图纸上了。尤其是地形图，更不可能将辽阔的区域测绘在一张图上。为了不重测、漏测，就需要将地面按一定的规律分成若干块，这就是地图的分幅。为了科学地反映各种比例尺地形图之间的关系和相同比例尺地图之间的拼接关系，为了能迅速查找到所需要的某地区某种比例尺的地图，为便于平时和战时地图的发放、保管和使用，需要将地形图按一定规律进行编号。

一、地图的分幅

地图有两种分幅方法，即矩形分幅和经纬线分幅。

（一）矩形分幅

采用此法进行地图分幅，每幅地图的图廓都是一个矩形，因此相邻图幅是以直线划分的。矩形大小一般根据纸张和胶印机的规格（全开、对开、四开、八开等）确定。

矩形分幅可分为拼接的和不拼接的两种。拼接使用的矩形分幅是指相邻图幅有共同的图廓线，使用时可按其共同边拼接起来，我国解放前的 1∶5 万地形图曾采用这种方法分幅，现在的许多大型挂图也是采用这种方法分幅；不拼接的矩形分幅指图幅之间没有共用边，图幅之间不能拼接使用，地图集中的地图都是这样分幅的。

矩形分幅的主要优点是：相邻图幅之间接合紧密，便于拼接使用（不拼接的除外）；各图幅的印刷面积可以相对平衡，有利于充分利用纸张和胶印机的版面

等。其缺点是图廓线没有明确的地理坐标，使图幅缺少准确的地理概念，而且整个制图区域只能一次投影。

(二) 经纬线分幅

采用此法进行地图分幅，每幅地图的图廓线都由经线和纬线构成。我国的基本比例尺地形图就是按经纬线分幅的。

经纬线分幅的主要优点是：每幅图都有明确的地理位置概念，适用于很大的区域范围（全国、大洲、全球）的地图分幅。其缺点是：当经纬线是曲线时，图幅拼接不方便；随着纬度的升高，相同经差、纬差所包围的面积不断缩小，因而实际图幅不断变小，不利于有效地利用纸张和胶印机的版面，为了克服这一缺点，一般在高纬度地区采用“合幅”的方式。

二、地图编号

所谓地图编号，就是对于分幅地图中的每幅地图用一个特定的号码来标记。常见的地图编号方法有行列式编号法和经纬度编号法两种。

(一) 行列式编号法

它是将整个制图区域按分幅规定划分为若干行和列，并相应地按序数或字母顺序编上号码。行的编号可从左到右，也可从右到左；列的编号可自上而下，也可自下而上。图幅的编号则用“行号-列号”或“列号-行号”的形式标记。此法常用于大区域的分幅地图，我国 1∶100 万比例尺地图就是用行列式编号法编号的。

(二) 经纬度编号法

此法适用于按经纬度分幅的地图。其编号方法是：以图幅右图廓的经度除以该图幅的经差得行号，上图廓的纬度除以该图幅的纬差得列号，取“行-列”作为图幅编号。采用这种编号方法，可以从图号准确地还原图幅的经纬度范围，具有定位意义。图 1.10 中 1∶5 万比例尺地图的编号 294104 就是这样算得的：

$$\text{行号}=73°30'/15'=294$$

$$\text{列号}=17°20'/10'=104$$

应该注意的是，当计算所得数字不是三位时，在前面用“0”补足。图中 1∶2.5 万比例尺地图的编号采用同样的方法计算。

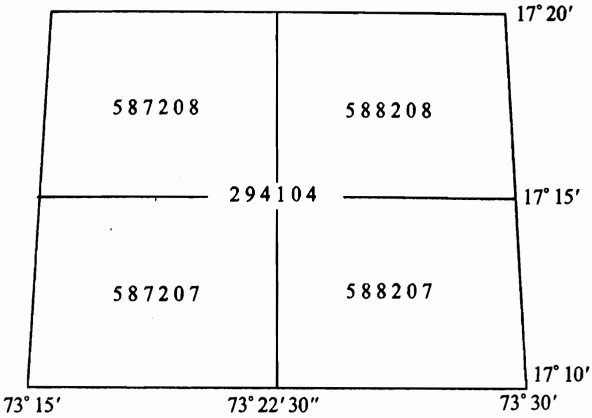


图 1.10　经纬度编号法示例

三、我国地形图的分幅与编号

我国七种比例尺地形图是按经纬线分幅的，相邻比例尺地图的数量成简单的倍数关系（表 1.1）。七种比例尺地形图的编号都是在 1∶100 万比例尺地图编号的基础上进行的，但 20 世纪 90 年代以前和以后变化较大。20 世纪 90 年代以前，1∶100 万比例尺地图采用列行式编号法（列号在前、行号在后），其他比例尺地形图的编号都是在 1∶100 万比例尺地图编号的基础上加自然序数，称其为旧的地形图编号；20 世纪 90 年代以后，1∶100 万比例尺地图采用行列式编号法（行号在前、列号在后），其他比例尺地形图的编号都是在其后再叠加行列号。

表 1.1　地形图相邻比例尺地图的数量关系

比例尺		1∶100 万	1∶50 万	1∶25 万	1∶10 万	1∶5 万	1∶2.5 万	1∶1 万
图幅范围	经差	6°	3°	1°30′	30′	15′	7′30″	3′45″
	纬差	4°	2°	1°	20′	10′	5′	2′30″
图幅数量关系		1	4	16	144	576	2304	9216
			1	4	36	144	576	2304
				1	9	36	144	576
					1	4	16	64
						1	4	16
							1	1

（一）旧地形图分幅编号

其编号方法如图 1.11 所示。

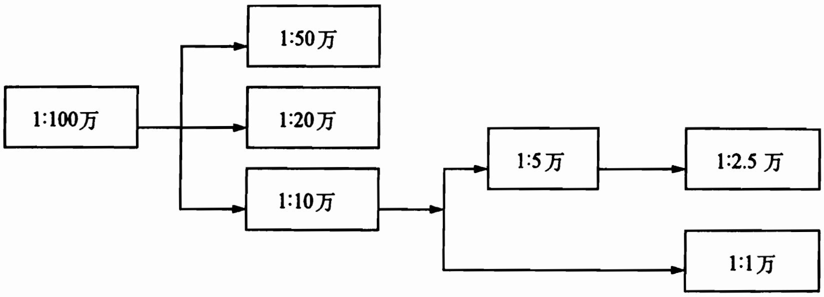


图 1.11　我国基本比例尺地形图的旧分幅编号系统

1. 1：100 万比例尺地形图分幅编号

国际 1：100 万比例尺地图的标准分幅是经差 6°、纬差 4°。由于在高纬度地区地图面积迅速缩小，所以规定在纬度 60°至 76°度之间双幅合并，即每幅图包括经差 12°、纬差 4°；在纬度 76°至 88°之间由四幅合并，即每幅图包括经差 24°、纬差 4°；纬度 88°以上单独为一幅。

我国 1：100 万地图的分幅编号均按国际 1：100 万地图的标准。具体编号方法是：从赤道起算，每隔纬差 4°为一列，至南、北纬 88°，各为 22 列，北半球的

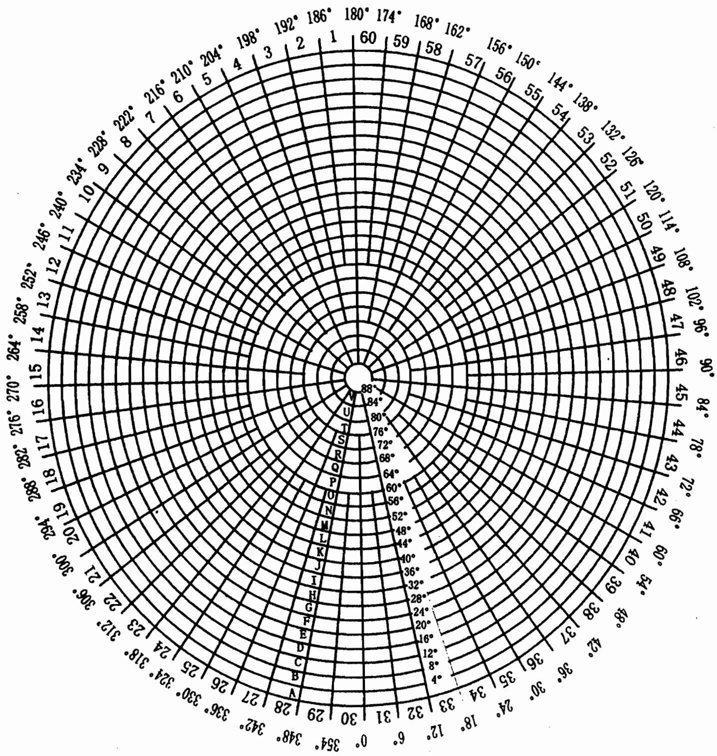


图 1.12　北半球 1：100 万比例尺地图的分幅编号

图幅在列号前冠以 N，南半球的图幅冠以 S，以下依次用英文字 A、B、C、D、…、V表示相应的列号；从 180°经线算起，自西向东每隔经差 6°为一纵行，全球分为 60 行，依次用阿拉伯数字 1、2、3、4、…、60 表示行号。这样，每一幅 1∶100 万地图编号就可以取“列号-行号”来标记。例如，北京所在的1∶100 万地图的编号为“NJ-50”，由于我国位于北半球，故编号前的“N”省略。图 1.12 是北半球 1∶100 万比例尺地图的分幅编号，图 1.13 是我国 1∶100 万比例尺地图的分幅编号。

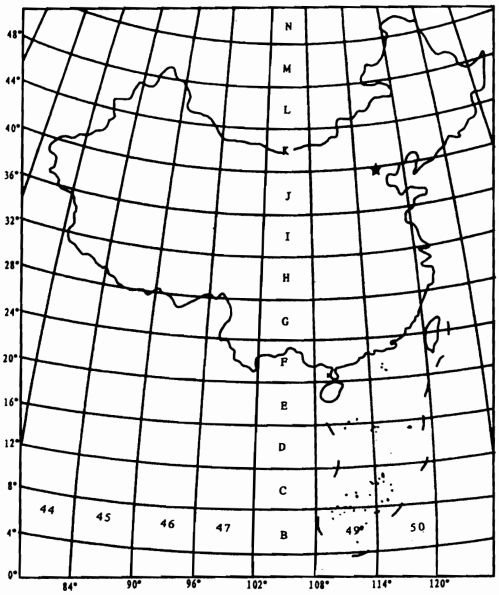


图 1.13　我国 1∶100 万比例尺地图的分幅编号

2. 1∶50 万、1∶25 万、1∶10 万比例尺地形图的分幅编号

这三种比例尺地图的编号都是在 1∶100 万地图编号的后面分别加上本身的代号构成。这三种比例尺地图自身的代号都是自然序数编号。它们的编号由“列-行-代号”构成（图 1.14）。

每幅 1∶100 万比例尺地图按经差 3°、纬差 2°分成四幅 1∶50 万比例尺地图，其代号分别用 A、B、C、D 表示，故 1∶50 万地图的编号是在 1∶100 万地图编号的后面加上各自的代号，例如 J-50-A。

每幅 1∶100 万比例尺地图按经差 1°30′、纬差 1° 分成 16 幅（即 4 行 4 列）1∶25万比例尺地图，其代号分别用［1］，［2］，［3］，…，［16］表示，其图幅编号是在 1∶100 万地图编号的后面加上各自的代号，例如 J-50-［2］。

每幅 1∶100 万比例尺地图按经差 30′、纬差 20′分成 144 幅 1∶10 万比例尺地图，其代号分别用阿拉伯数字 1，2，3，…，144 表示，其图幅编号是在

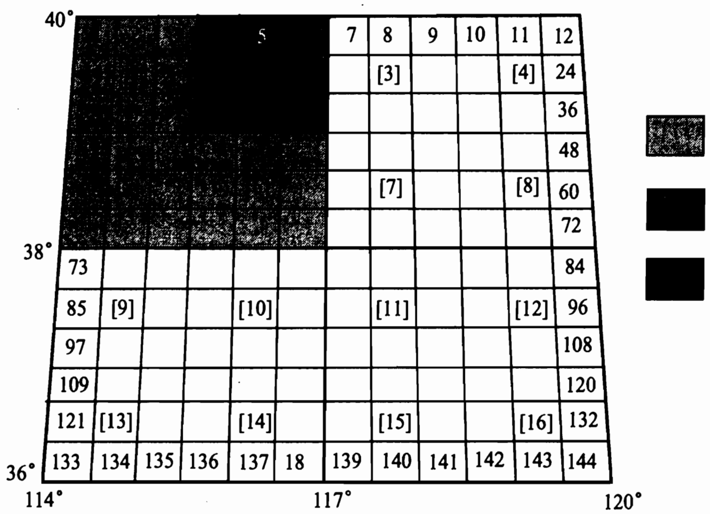


图 1.14 1∶50 万、1∶25 万、1∶10 万比例尺地形图的分幅编号

1∶100 万地图编号的后面加上各自的代号，例如 J-50-5。

3. 1∶5 万、1∶2.5 万、1∶1 万比例尺地形图的分幅编号

这三种比例尺的编号都是在 1∶10 万比例尺地形图编号的基础上逐次派生出来的（图 1.15）。

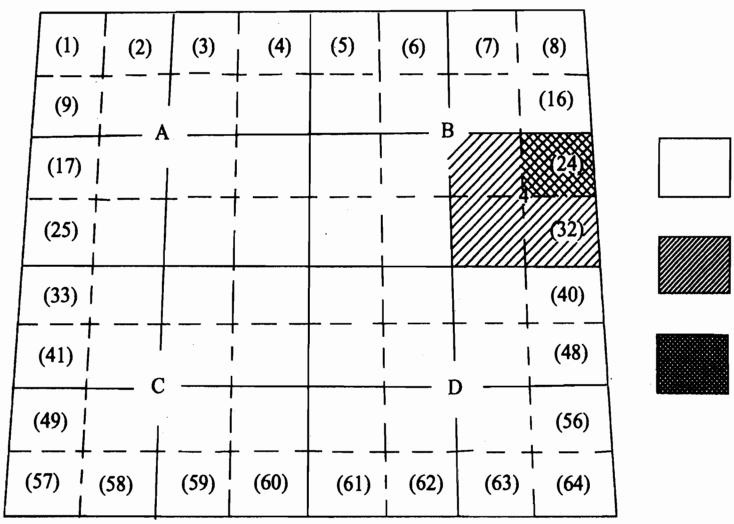


图 1.15 1∶5 万、1∶2.5 万、1∶1 万比例尺地形图的分幅编号

每幅 1∶10 万比例尺地形图按经差 15′、纬差 10′分成 4 幅 1∶5 万比例尺地形图，其代号分别用 A、B、C、D 表示，其图幅编号是在 1∶10 万地图编号的

后面加上各自的代号，例如 J-50-5-B。

每幅 1∶5 万比例尺地形图按经差 7′30″、纬差 5′分成 4 幅 1∶2.5 万比例尺地形图，其代号分别用 1，2，3，4 表示，其图幅编号是在 1∶5 万地图编号的后面加上各自的代号，例如 J-50-5-B-4。

每幅 1∶10 万比例尺地形图按经差 3′45″、纬差 2′30″分成 64 幅 1∶1 万比例尺地形图（即 8 行、8 列），其代号分别用（1），（2），（3），…，（64）表示，其图幅编号是在 1∶10 万地图编号的后面加上各自的代号，例如 J-50-5-(24)。

（二）新的地形图分幅编号

根据 1991 年制定的《国家基本比例尺地形图分幅和编号》国家标准，新系统的地形图分幅没有任何改变，但图幅编号方法有较大变化。

1. 1∶100 万比例尺地形图的编号

新系统的 1∶100 万比例尺地形图的编号并没有什么实质性的改变，只是列和行对换了，横向为行、纵向为列，且由“列-行”式变为“行列”式，即把行号放在前面，列号放在后面，中间不用连接号。例如，北京所在的 1∶100 万比例尺地图的编号为“J50”。

2. 1∶1 万～1∶50 万比例尺地形图的编号

这 6 种比例尺地形图的图幅编号都是在 1∶100 万比例尺地形图编号的基础上进行的，它们的编号都由 10 个代码组成，其中前三位是所在的 1∶100 万地图的行号（1 位）和列号（2 位），第四位是比例尺代码，每种比例尺都有一个特殊的代码，如表 1.2 所示。后面六位分为两段，前三位是图幅的行号数字码，后三位是图幅的列号数字码。行号和列号的数字码的编号方法是一致的，行号从上而下，列号从左到右顺序编排，不足三位时前面加“0”（图 1.16）。

表 1.2　地形图比例尺代码

比例尺	1∶50 万	1∶25 万	1∶10 万	1∶5 万	1∶2.5 万	1∶1 万
代码	B	C	D	E	F	G

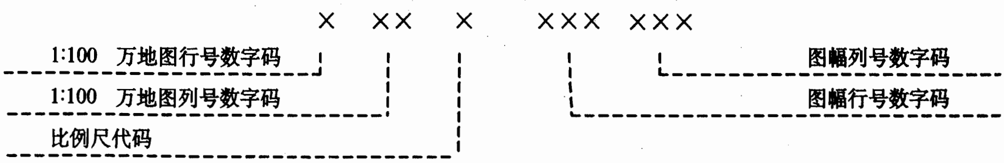


图 1.16　1∶1 万～1∶50 万比例尺地形图图幅编号的构成

第五节 地图的功能

地图自身具有特殊的功能。特别是随着现代科学技术的发展，计算机技术与自动化技术的引进，信息论、模型论的应用，以及各门学科的渗透与交叉，地图的功能有了新的发展。

一、地图的模拟功能

模型是根据实物、设计图或设想，按比例制成的同实物相似的物体。地图就是一种经过简化和抽象化了的地理空间模型。它以符号和文字描述地理空间环境的某些特征和内在联系，使之成为一种模拟模型。例如，用等高线表示地貌形态时，等高线本身并不是地面存在的客观实体，而是实际地形的模拟。

如前所述（第一节），地图具有严格的数学基础，采用直观的符号系统和经过抽象概括来表示客观实际。它不仅表现物体或现象的空间分布、组合、联系，而且可以反映其随时间的变化和发展，这就是由于地图具有很强的模拟功能所致。地图模型较之其他模型（如数学模型、物理模型、表格图表、文字描述、航空照片和卫星图像等）具有更多的优点，例如：地图模型的直观性、一览性、抽象性、合成性、几何相似性、地理适应性，比例尺的可量测性等，都是其他形式的模型所不完全具备的。

二、地图的信息负载功能

地图是地理空间信息的载体。用符号表示的模拟地图，具有定位特征的地图符号是地理空间信息的载体；以数字形式表示的数字地图，数字是地理空间信息的载体。

既然地图是地理空间信息的载体，自然就涉及地图信息量问题。由地图符号构成的模拟地图，其信息量由直接信息和间接信息两部分组成。直接信息是地图上图形符号所直接表示的信息，人们通过阅读地图很容易获得；间接信息是要通过对地图进行分析解译所获得的信息，往往需要进行思维活动，通过分析综合才能获得。

地图（图形符号形式）能容纳和储存的信息量是非常大的。根据不十分成熟的统计方法，一幅普通地图能容纳和储存1～2亿个信息单元的信息量。如果考虑到目前的激光缩微技术，一幅地形图（50cm×60cm）可以缩小至几平方厘米，即意味着几平方厘米的缩微地图上可以容纳和载负1～2亿个信息单元的信息量。这里所说的信息量还只是指直接信息量，间接信息量就更是无法估算。因此，由多幅地图汇编的地图集就有“地图信息库”和“大百科全书”之称。

数字地图的信息量可以通过其在磁介质上的存储空间来计量。

三、地图的信息传递功能

地图的信息载负功能为地理空间信息的传递准备了充分的条件。信息论引入地图学以后，形成了以研究地图信息获取、传递、转换、储存和分析利用的地图信息论，地图也成为地理空间信息传递的工具。

地图信息的传递与一般信息的传递过程大体是相似的。捷克地图学家柯拉斯尼（A. Kolacny）于 1969 年首先提出了地图信息传递系统模型（图 1.17），用以描述地图信息传递的特征，阐明了作为一个完整过程的地图制作与地图使用两者之间的联系，揭示了地图信息的产生、含义和使用效果的传递系统，开拓了从信息论的角度来研究地图的新领域。

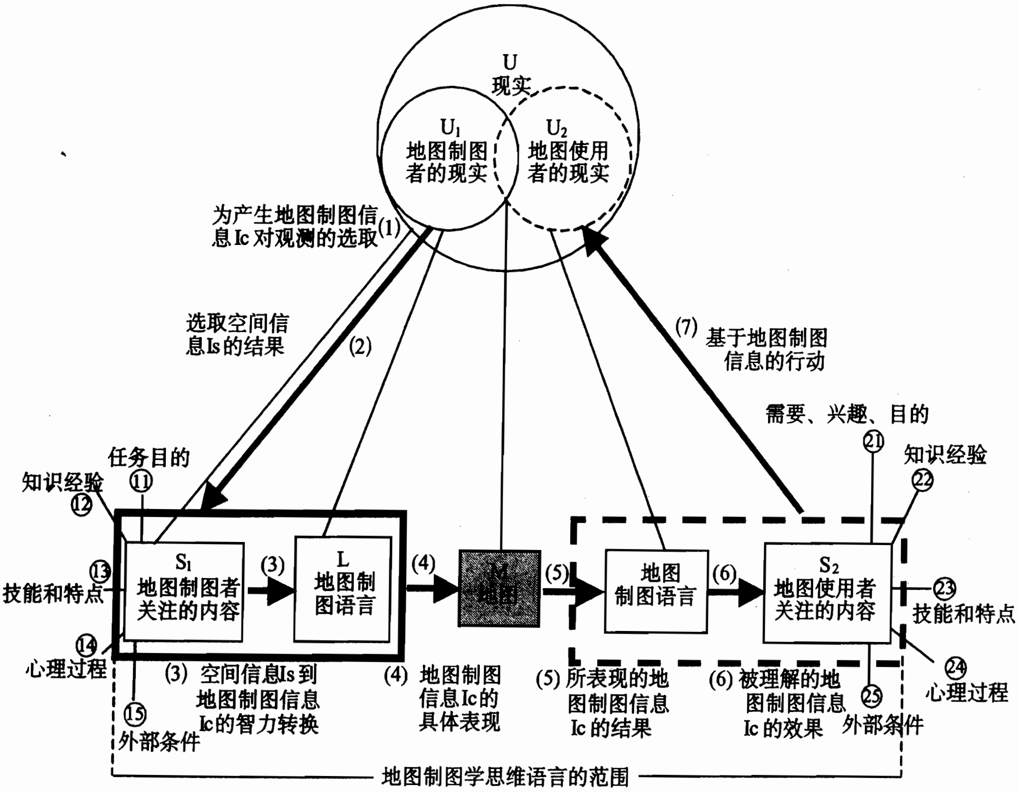


图 1.17　地图信息传递系统模型

地图信息传递的过程是：制图者（信息发送者）把对客观世界（制图对象）的认识加以选择、分类、简化等信息加工，经过符号化（编码）制成地图；通过地图（通道）将信息传递给用图者（信息接收者）；用图者经过符号识别（译码），同时通过对地图的分析和解译，形成对客观世界（制图对象）的认识，并

用于指导行动。

四、地图的认知功能

地图具有认知功能是地图的本质所决定的。地图用图形来表达事物，给人一种特殊的感受效果，它区别于并在很多方面优于自然语言的感受效果，因而一直被人们当作地理信息传递的工具来使用。就是当今经过精密测绘而获得的地图，其信息传递形式仍是其他形式所不可能代替的最有效的方法。

地图不仅能直观地表示任何制图对象的质量特征、数量差别和动态变化，而且能反映各种现象的分布规律及相互联系，所以，地图不仅是区域性学科调查研究成果的很好的表达形式，而且也是科学研究的重要手段，尤其是地学、地理学研究不可缺少的手段，因此地图有“地理学第二语言”之称。

应用地图的认知功能，可以在很多方面发挥地图的作用。例如：通过对地图各要素或各相关地图的比较分析，可以确定要素之间的相互联系和不同历史时期自然和社会现象的变迁、发展；通过地图上的各种量算（坐标、长度、深度、高度、面积、体积、坡度、密度、曲率等），可以更深入地认识客观世界；利用地图构建各种剖面、断面、块状图等，可以获得制图对象的空间立体分布特征，等等。总之，发挥地图的认知功能，可以帮助人们认清规律，进行综合评价，预测预报和规划设计，为国民经济和国防现代化建设服务。

以上所述地图的模拟功能、信息载负功能、信息传递功能和认知功能，是就可视化的模拟地图而言的，数字地图以数据作为信息的载体，其信息在网络上进行传输；而数字地图的模拟功能在其可视化（输出纸质地图或电子地图显示）后得以实现，至于数字地图的认识功能，则是计算机地图模式识别、信息查询和空间分析的问题。这些问题还有待于进一步深入研究。

第二章　地　图　学

第一节　地图学的现代特征和定义

关于学科名称及怎样认识地图学及其实质，是学术界一直在热烈讨论的问题。地图学的定义是由其特征决定的，认清了地图学的特征，就可以对地图学的定义有深刻理解。

一、关于学科名称问题

20世纪50～60年代，学术界一直在讨论一个问题：是叫“地图学”还是叫“地图制图学”。地理学界主张叫“地图学”，认为地图学是地理学的研究方法和地学研究结果的可视化表达；地图制图界主张叫“地图制图学”，强调的是地图制作与生产的方法、技术，认为“地图制图学”是测绘成果的重要表现形式，是测绘生产过程的最后工序。就是在这种情况下，地图学与地图制图学都在地理学与测绘学中并行地得到了发展。

也曾经有过将地图学与地图制图学两个学科名称统一起来的努力，这就是表现在20世纪80年代末至90年代的《测绘学名词》中的“地图学（地图制图学）”的表述方法，即认为“地图学”与“地图制图学”是同义词，其实，二者的英文名词都是“Cartography”。

随着地理信息系统和地理环境仿真与虚拟现实技术的发展和日趋成熟，以及应用领域的不断扩大和应用效果的日趋显著，原来的学科名称“地图学”与“地图制图学”已包含不了已经大大扩展和延伸了的内容，于是，在“测绘科学与技术”一级学科（工科）下设立了“地图制图学与地理信息工程”，在“地理学”一级学科（理科）下设立了“地图学与地理信息系统”，也就是在这种情况下，“地图制图学与地理信息工程”、“地图学与地理信息系统”都在测绘科学与技术、地理学中并行地得到了新的发展。

如果说有什么区别的话，那么只能说“地图学”、“地图学与地理信息系统”，侧重于“理”，利用地图与地理信息系统研究地理学规律；而“地图制图学”、“地图制图学与地理信息工程”侧重于“工”，强调工程科学技术研究、软件研发和工程实践。

二、地图学的现代特征

关于地图学的现代特征，国内外学者有许多研究，提出了各种各样的看法，可以归纳如下：

(一) 地图学的跨学科特征

学科之间的交叉是现代科学技术发展的主要趋势（图 2.1）。现代地图学的重要特征之一，就是打破了学科的界线，学科之间的界线变得越来越模糊，学科前沿不断向前推进。正如曾任国际地图学协会（ICA）主席的莫里逊（J. Morrison）于 1995 年在西班牙巴塞罗那举行的第 17 届学术讨论会的主题报告中指出的，现代地图学已经成为一门跨越学科界线的科学。也可以说，地图学是一门交叉学科，即指诸学科门类知识之间的交叉和相互作用所形成的学科。



图 2.1　知识的结构体系（引自路甬祥《我们的时代和科学技术的未来》纪念中国科协成立 40 周年科学技术面向新世纪学术年会特邀报告　1998 年 9 月 23 日）

关于科学的分类，目前尚无定论。地图学的各分支或研究方向几乎与各个学科门类都有着密切关系。例如，地图设计、制作与生产，是技术与工程科学的一部分，又与系统科学密切相关；专题地图制图，当它是以自然现象作为地图的主题内容时，涉及的是自然科学的问题，而当它的主题是社会经济现象时，则遇到

的问题又属于社会与人文科学的范畴；地图投影与数学密切相关，在某种意义上可以说就是应用数学的一个分支；地图制图综合，涉及脑科学、数学；地图信息传输理论，涉及到系统科学、信息科学与数学；地图视觉感受理论，包含着生理因素、心理因素和心理物理学因素，这些都是属于不同科学领域的问题，其中同认知科学、脑科学、心理科学的关系尤为密切。地图学的这一特征，使我们有可能探寻更多的新的生长点。

（二）地图学的信息传输特征

在相当长的一段时间内，地图制图工作者为寻找地图学的理论基础而徘徊。回顾 20 世纪 50～60 年代，地图学中除了地图投影、制图综合、地图表示法等内容可以做点文章外，“地图学的贫困”已使许多地图学家都感到无所作为了。就是在这个时候，一些横断科学（可以作为其他科学的基础的科学），如信息论、系统论和控制论的诞生，立即受到了国内外地图制图工作者的重视。进入 20 世纪 60 年代以后，当世界各国开始探讨技术革命的趋势，把“信息”当作人类社会的三大资源之一（与能源、材料一起）给予特别重视的时候，捷克地图学家柯拉斯尼提出了地图信息传输的观点和传输模式（见图 1.17），在国际地图学界引起了强烈的反响。虽然要研究的问题还很多，但他却把信息论、系统论和控制论结合起来，从总体上认识地图学的本质，抓住了问题的要害。

信息科学影响到几乎所有科学技术领域的观察手段和研究方式，地图学也不例外。信息是符号化的知识。信息化以知识为内涵，又成为知识创新、知识传播和知识的创造性多样化应用的基础。电子技术和信息时代已经把作为“制作地图的艺术、科学和技术的地图学”转变为“地理空间信息传输的过程”，这是现代地图学的一个重要特征。基于这样一个特征，地图学是一门传输地理空间信息的科学技术，从地图设计、生产到地图使用，构成了地理空间信息传输的完整过程。这就意味着，制图者要训练怎样使用地图和为什么使用地图，用图者同样要受到怎样制作地图和为什么要以一种特殊方式设计地图的训练，尤其有必要研究从地图用户到地图设计与生产的反馈作用。

（三）地图学的模型化特征

地图学过去一直被认为是一门“经验科学”，甚至怀疑其称为“科学”是否恰当，而只把它当做一种工艺。但这些年来数学方法在地图学中的广泛应用，已使它逐步向系统的理论的科学过渡，带来了可喜的进步。从前，数学好像只是在地图投影中才得到应用，而现在这种状况已经明显地改变了。我们在数据采集、整理时，研究自动制图综合时，用地图分析某种自然、社会现象并探讨它们的规律时，用检测视觉感受效果的方法来提高地图的设计水平时，对专题制图数据进

行分类、分析和趋势预测时，都需要使用数学方法。在计算机地图制图、地图数据库和地理信息系统建立和应用中，数学建模更是一切工作的前提。这就告诉我们，模型化已成为地图学和数学的“接口”。这是国内外很多专家已经注意到并已着手探索的一个新的领域。可以预计这将是地图学领域极为重要的研究内容，它已不是传统的工程数学所能胜任的了，必须引入许多现代数学方法，如拓扑学、图论、模糊数学、灰色系统理论、多元统计分析、数学形态学，分形与分维、小波理论和方法等。可以这样说，如同数学是自然科学、社会与人文科学、技术与工程科学的方法和基础那样，数学已经成为地图学的方法和基础，这标志着地图学的理论化。

（四）地图学的高技术特征

计算机技术被引进地图学以后，对学科建设和发展起了巨大的促进作用，从最初的计算机辅助地图绘制，发展到现在的基于地图数据库的地图制图与出版的数字化、自动化与一体化，地图生产方式正在由模拟的手工方式向数字化的自动或半自动方式转变。其结果是：增加了科学技术含量，减轻了劳动强度；缩短了地图生产周期，加快了地图生产速度；丰富了地图内容，增加了地图品种；扩展了地图的功能，尤其是在地图信息的计算机实时显示、对比和预测等方面有特别的收效；改变了传统的地图生产体制、分工和作业人员的结构等。

20 世纪 80 年代以来，由于微电子技术、光电子技术、计算机技术、光纤和卫星通信及全球网络技术、多媒体技术和虚拟现实技术的飞速发展，以信息获取、存储、处理、显示技术和装备，以及信息服务为内容的信息产业迅速崛起。地理信息系统得到了十分迅速的发展，网络地理信息系统（WebGIS）、组件式地理信息系统（ComGIS）、开放式地理信息系统（OpenGIS）、三维地理信息系统（3DGIS）、时态地理信息系统（TGIS）和网格地理信息系统（GridGIS）等取得了突破性进展。地理信息产业已成为信息产业的重要组成部分，并已在城市规划与管理、城市社会治安、环境监测与治理、资源调查与利用、投资环境评价、防灾减灾、工程建设、考古、作战指挥自动化、数字化战场建设和人们的日常生活等许多方面获得了广泛的应用。

三、地图学的定义

基于前述地图学现代特征的分析，近些年来国内外地图学家提出了不少关于地图学的定义。例如：美国地图学家莫里逊认为“地图学是空间信息图形传输的科学”；前苏联地图学家希里亚耶夫（E. E. Щйряев）在他的《应用电子计算机绘制地图和分析地理信息的新方法》一书中进一步指出：“地图学是研究地球和天体的现象、结构、空间关系和特性的信息表示、存储和传输方法，以图形数字

模型并按一定比例尺来表示，对人来说用概括的视觉形式，对机器来说以特殊的形式，并为实际利用而进行说明的科学。”前印度测量局局长、国际地图学协会（ICA）副主席在1984年提交ICA第13届学术讨论会的论文中，认为“地图学作为一种涉及表述任意客体空间的空间数据的信息管理和传输系统，它是包括数据获取、处理、组织、存储和分析以及经过处理的数据产品以与当时社会、经济和文化需要相关的传输形式予以显示的各种技术方法的总和”。1986年，加拿大地图学家泰勒（D. R. F. Taylor）在郑州测绘学院讲学时，介绍了基普提尔（Guptill）和斯塔尔（Starr）1984年提出的地图学定义，认为“地图学是建立在实际被认为是地理现实多要素模型这样一个空间数据库基础上的信息转换过程。这样的数据库成为接收输入数据和分配各种信息产品这一完整制图系列过程的核心”。我国高俊教授认为：“地图学是以地图信息传输为中心的探讨地图的理论实质、制作技术和使用方法的综合性学科。”

从以上可以看出，由于信息科学和计算机技术引进地图学领域，产生了对地图学的某些新的认识。但是应该看到，上述各种地图学定义并未充分反映信息化时代地图学的特征。我们认为，在地图学的定义中，必须顾及地图学的现代特征，即既要揭示地图的固有的本质，又要体现信息时代信息科学和电子技术引进地图学领域后所产生的新变化。特别是近30年来，随着信息科学、知识工程、计算机和通信网络技术的发展，计算机地图制图、地图数据库和地理信息系统技术发展很快，作为人类认知地理环境和利用地理条件的工具，地图学已经进入数字制图和动态制图的阶段，并且成为地理信息系统的理论和技术支撑，地图学的任务已经发展到研究地理空间环境信息和建立相应的空间信息系统。

据此，我们认为：地图学是一门研究利用地图图形或数字化方式科学地、抽象概括地反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互联系、空间关系及其动态变化，并对地理环境空间信息进行数据获取、智能抽象、存储、管理、分析、处理和可视化，以图形或数字方式传输地理空间环境信息的科学与技术。

当然，随着包括地图学在内的科学技术的不断发展，我们对地图学的认识也还要不断地深化。

第二节　地图学的学科体系和各主要学科的研究内容

地图学作为一门科学，有自己的科学技术体系。近些年来，国内外地图学家对地图学的体系结构进行了许多研究和探讨，提出了各种地图学体系结构模式。尽管这些结构模式很不相同，看法也很不一致，但有一点是共同的，即把地图学划分为理论地图学和实用地图学两大部分，把理论地图学提到了突出的位置。

一、国内外有关地图学学科体系简析

在国内外学者提出的地图学体系中，比较有代表性的有国外的拉塔依斯基（L. Ratajski）、克列茨切米尔（I. Kretschmer）、弗雷塔格（U. Freitag）和我国的廖克、高俊等人提出的体系结构模式。

波兰地图学家拉塔依斯基主张把地图传输概念作为地图学的基础理论，以地图传输作为地图学的核心建立了地图学的体系（图 2.2），并把其他学科如地理学、测量学等作为地图学的基础学科，而把数学、计算机技术、符号学、心理学、美学、印刷技术作为地图学的方法论基础。拉塔依斯基虽然提出了理论地图学和应用地图学的概念，但层次不明确，只是一个笼统的体系。

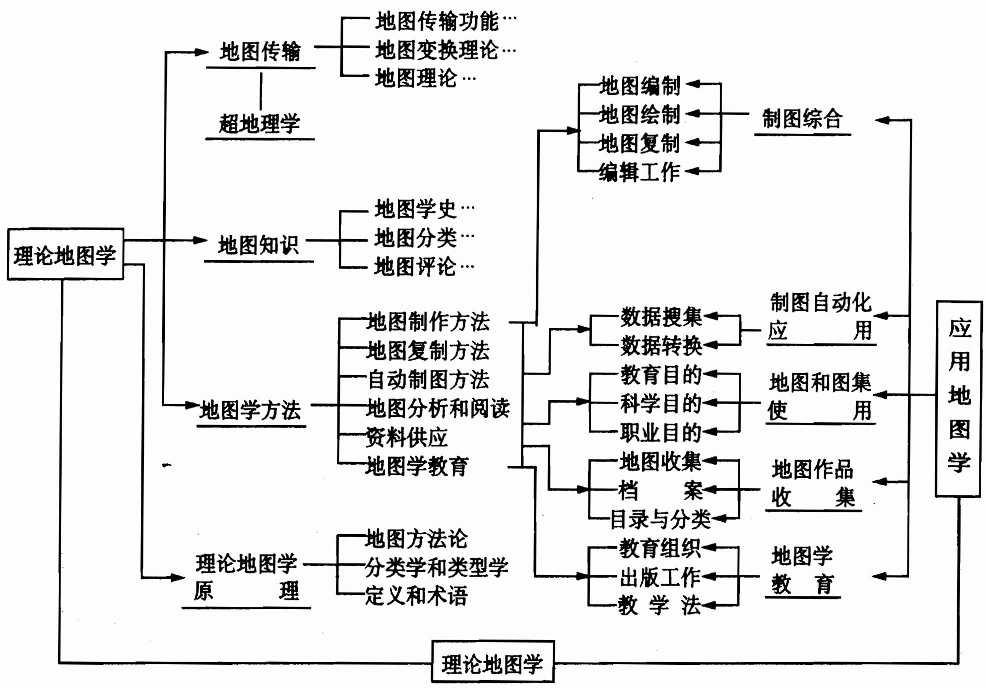


图 2.2 拉塔依斯基的地图学体系（1973 年）

克列茨切米尔是瑞士地图学派的维护者。她认为“每一门科学不仅具有自己的特点和知识集合，同时也是它本身的研究工作的活动过程”，如果“很多研究工作仍然受其他一些学科（如地理学、心理学等）的影响，则这对于地图学是一个巨大的危险，因为这正好可以否定它作为科学的存在”。虽然她也提出了一个地图学体系结构模式（图 2.3），但实际上她是主张紧缩地图学的阵地，保持传统的地图生产方式，这显然包含不了近 30 年来地图学已经扩展了的内容。一门科学的发展，特别是与其他科学技术的相互渗透，必然会出现一些边缘学科或新

的生长点，其结果必然扩大地图学的领域，丰富地图学的内容。

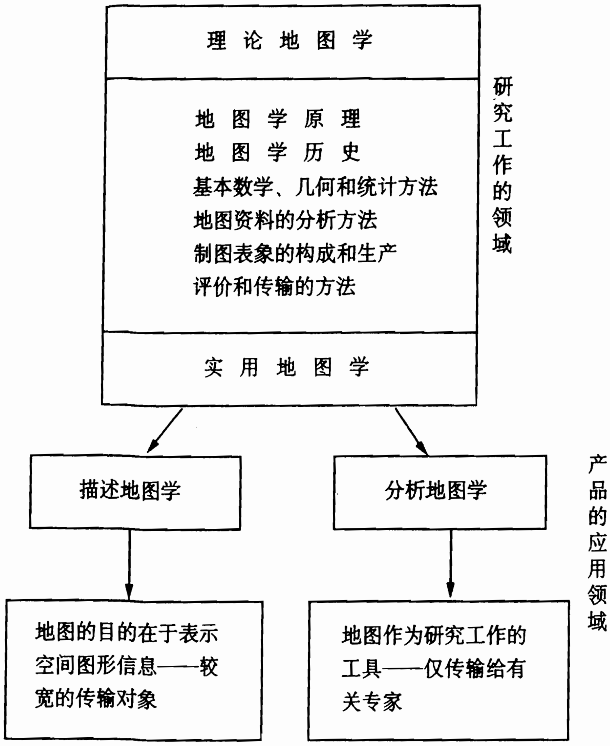


图 2.3　克列茨切米尔的地图学体系（1978 年）

与克列茨切米尔的观点相对立，德国的弗雷塔格和美国的莫里逊（J. Morrison）等人认为，随着科学技术的发展，应把与地图学有关的边缘学科也纳入本学科的范围，甚至把可以转换为地图的地面数据的磁带记录也当成地图的一种特殊形式，特别是把地图作为一种传输信息的工具，这就大大地扩展了地图学的研究领域。图 2.4 是弗雷塔格的地图学体系结构模式。此模式的缺点是把各自自成体系的信息论、感受论与传输论勉强凑合，共同作为地图学的理论基础，在哲学概念上显得有些互相矛盾，无法组成一个完整的指导理论。

廖克教授考虑到当代地图学的发展，提出由理论地图学、地图制图学、应用地图学三大部分（或称三个主要分支学科）构成现代地图学体系（图 2.5）。他认为：第一，从现在发展来看，理论地图学已经能够构成一个独立的分支学科；第二，地图编制学早已成为地图学的分支学科，不过现在称为地图制图学，含义更广，反映了现代地图制图学的发展；第三，随着地图的大量生产和广泛应用，尤其是随着数学方法和新技术的引进，地图学在科学研究和解决实际问题方面已有很大发展，因此把应用地图学作为地图学的一个独立的分支学科也是完全必要的。问题是三大分支学科以下的层次和体系并未建立起来，各自的研究范围不很

普通地图

地图学理论

1．图形格式塔理论
2．图形语义理论
3．图形效果理论
4．地图传输理论

地图学方法

1．信号识别 —语法信息测量 —图像构成 —图像联合—简化—图像复制 —分类
2．制图系统分析 —制图编码方法 — 缩小 —投影 —地物典型化—分组 —分层 ——级数选择
3．地图学训练 —实用制图与地图设计 —制图标准化— 制图综合 —地图使用 —地图分类
4．地图管理

地图学实践

1．制图组织
2．制图编辑—地图生产准备 —地图计划 —地图绘制
3．制图生产—生产组织—原图生产 —地图复制 —地图出版准备
4．地图发放—地图分配—地图储存 —地图使用
5．地图学的附加业务
6．地图学的训练

图 2.4 弗雷塔格的地图学体系

合理，传统制图学与新技术之间的关系不很明确。

高俊教授在对国内外的各种学术观点和地图学的现代特征进行分析的基础上，提出了一个“地图科学”的体系结构。他认为地图学的发展已经具备了综合科学的主要特征，建议用“地图科学”（简称“地图学”）代替当前扩展了的“地图制图学”来概括更广泛的科学内容和更完整的科学技术系统，而把“地图制图学”（简称“制图学”）限制在以地图设计、制作为中心的技术科学的范围之内，作为“地图科学”的一个核心部分，强调“地图科学”一词更有助于准确表达与地图有关的一个科学的群体特征。他的关于“地图科学”的结构模式包括三个层

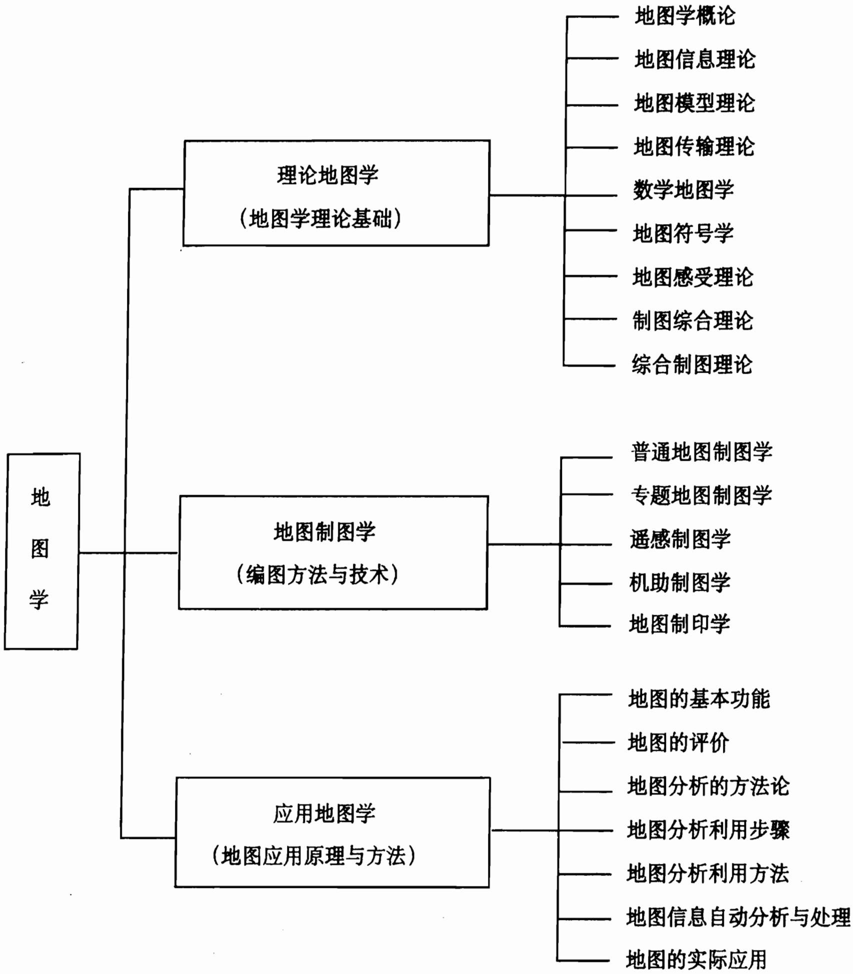


图 2.5　廖克的地图学体系（1982 年）

次（图 2.6）：第一个层次，地图传输理论，它是地图学的理论基础；第二个层次，涉及到信息科学、符号论、模型论、感受论等，可以称之为“应用基础”（或技术科学）；第三个层次，直接为地图生产服务的技术方法，在地图科学中是最实用的一部分。总的来看，高俊的“地图科学”体系层次清晰，基本上反映了地图学的现代特征。主要问题是缺少地图学应用层次，作为“地图科学”体系似乎不够完整。

二、关于地图学现代科学体系的思考

每门学科都需要有一个科学的体系，在信息化向地图学提出挑战的年代，地图学需要一个符合系统科学特征的现代体系。

地图学的科学体系作为一个系统，除要考虑前述（第一节）地图学的现代特

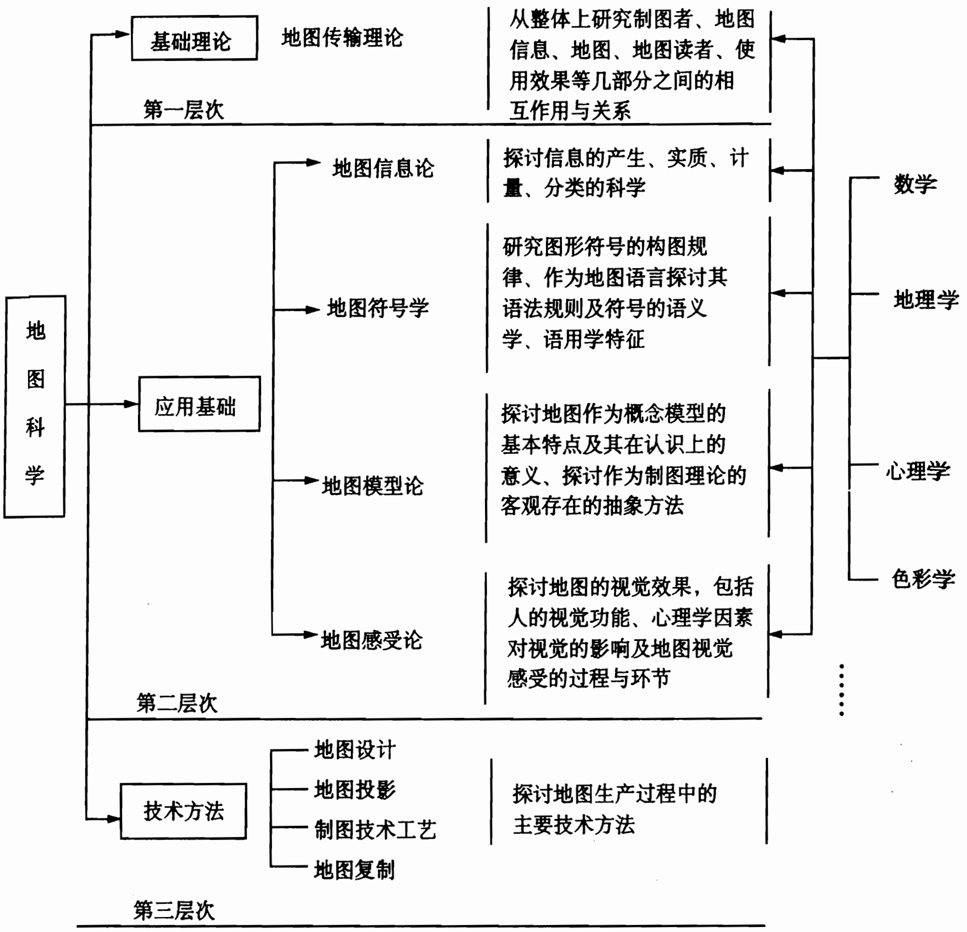


图 2.6　高俊的“地图科学”体系（1986 年）

征这个根本因素外，还要从系统科学的方法论出发考虑以下因素：

1. *学科体系的整体性*

这是建立地图学现代科学体系首先要考虑的。所谓地图学科学体系的整体性，是说地图学科学体系的各个部分是一个有机的整体。在这个整体中，一方面，各个部分都有自己的“目标”；另一方面，各个部分又在实现体系整体“目标”中充当着不可缺少的重要角色。地图学的科学体系作为一个系统，是在一定环境中为了实现其目标而相互联系、相互制约的几个部分的有机集合体。

2. *学科体系的层次性*

所谓地图学科学体系的层次性，是指地图学科学体系这个系统被包含在自然科学、技术工程科学、社会与人文科学这个更大的系统内，而地图学科学体系内部又是由几个部分或分支学科组成，各个分支学科又可能包括一些更小的部分或研究方向，由此构成地图学科学体系的层次性。

3. 学科体系的关联性

构成地图学科学体系的各层次之间存在密切关联关系，这种关联给出了地图学科学体系的结构框架，同时也决定了整个地图学科学体系的机制。一般地说，这种关联在一定时间内处于相对稳定状态，但随着时间的推移和科学技术的发展，这种关联性会发生相应的变化。

4. 学科体系的开放性

地图学已经冲破长期传统的“封闭体系”，而建立起了“开放”的科学体系，而且随着科学技术的发展，地图学体系的开放性将更加明显。一方面，是对自然科学、技术与工程科学、社会与人文科学这个巨大的科学体系的“开放”，不断探索地图学新的生长点；另一方面，是在更广阔的领域和更高的层次上充分发挥其地图模拟、信息负载、信息传输、空间认知和决策咨询等方面的功能和作用。这两个方面的结合，必将使地图学在一个越来越开放的环境中发展和提高。

基于上述思想，我们提出如图 2.7 所示的地图学现代科学体系框架。这个体系框架把地图学分为理论地图学、地图（地理）信息工程学、应用地图学等三个部分，基本上体现了地图学的现代特征和上述地图学科学体系的系统科学特征。

理论地图学、地图（地理）信息工程学和应用地图学构成了现代地图学的理论、技术和产品应用的完整体系，地图学作为一门应用科学，这些是不可缺少的。

地图学的科学体系与更高层次的科学之间有着密切的联系。它有两个外层：第一个外层是认知科学、地球与环境科学、数学、语言学、心理科学、信息科学及系统科学；第二个外层是自然科学、技术与工程科学、社会与人文科学。

第三节　现代地图学的基本内容

如图 2.7 所示，现代地图学由理论地图学、地图（地理）信息工程学和应用地图学三个部分组成。各部分的基本内容如下：

一、理论地图学

理论地图学是现代地图学科学体系的第一个层次，包括基础理论、应用理论和地图学史。对地图工程学和应用地图学起理论指导和趋势导向的作用。

基础理论是有关地图学全局的理论，在理论地图学这个分支学科中，对应用理论和地图学史起直接指导作用；对地图信息工程学、应用地图学起理论基础的作用。基础理论的核心内容包括地图信息传输理论、地图空间认知理论和地学信息图谱理论。地图信息传输理论是信息传播学的重要研究领域，由于在地理信息系统中采用交互式和可视化技术，必然产生对传统地图传输模型的异化，研究一

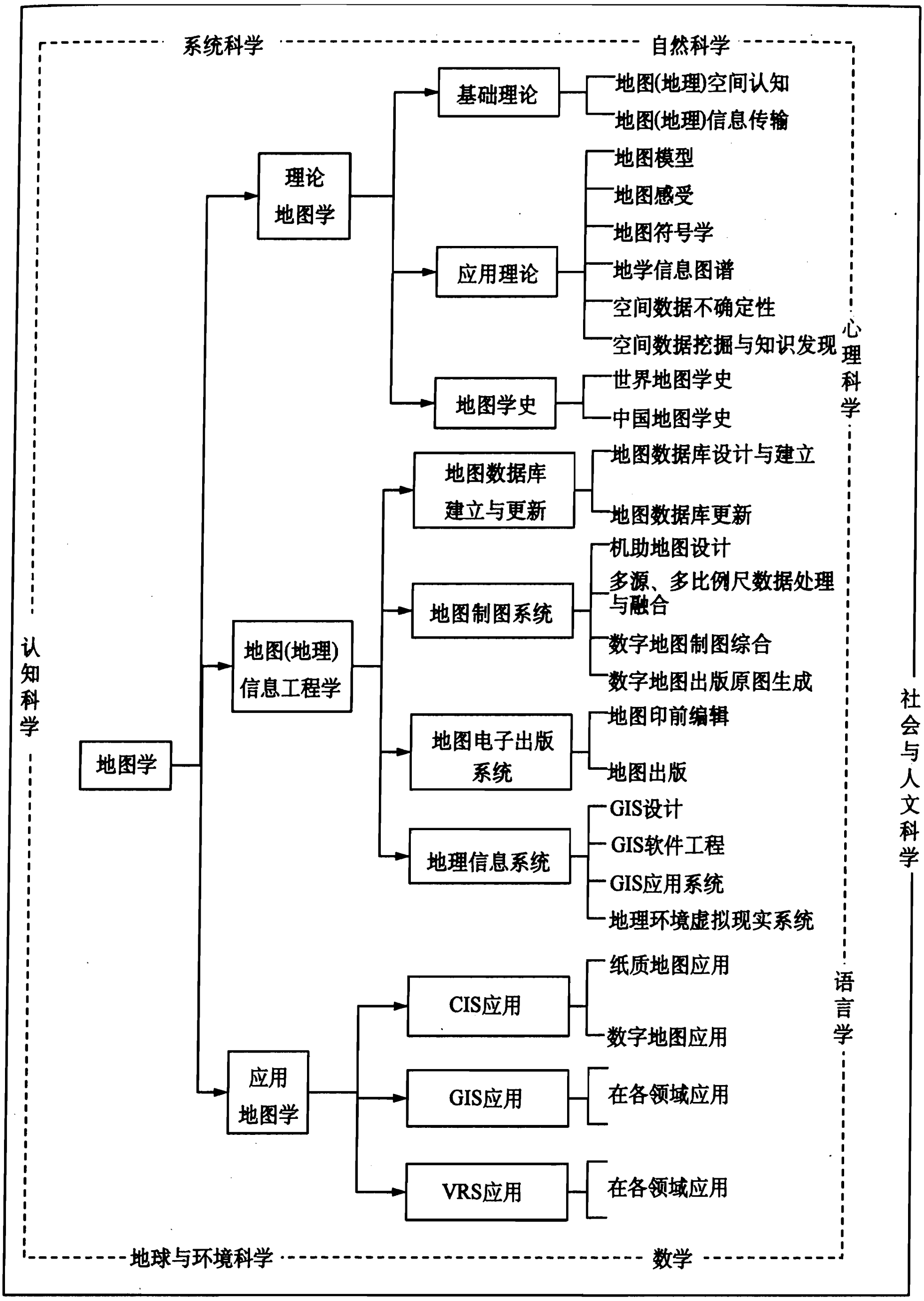


图 2.7　现代地图学科学体系框架

种基于交互式和可视化条件的地理空间信息传输模型；地图空间认知理论是认知科学的重要研究领域，把空间认知系统同地图学与地理信息系统加以比较，就可以发现两者的工作原理是一样的，都是信息加工系统；地学信息图谱是计算机化的地学图谱，用全数字化的方法表达区域自然过程与社会经济发展的时态演进与

空间分异，既再现它的历史又虚拟它的未来，是人们研究区域自然环境和社会发展的一种现代化的科学理论和方法。

应用理论是基础理论在地图信息工程学中应用的“桥梁”，直接指导地图（地理）信息工程学的过程，其主要内容包括地图信息论、地图模型论、地图感受论、地图符号学、地图信息综合理论、地理信息理论等。地图信息论研究地图信息的转换、存储、处理、测量及其应用等。地图模型论研究再现客观实际的地图模型的各种模型化方法，如地图数学模型、数字模型和数学制图模型。地图感受论是研究视觉变量用于构图时所引起的视觉感受效果的理论，对地图设计与生产有着直接的理论指导作用，地理信息系统中空间数据可视化的视觉感受变量问题应有新的研究。地图符号学探讨地图图形的构图规律，视为一种特殊的制图语言研究其语法规则，以及符号的语义学和语用学特征。地图制图综合是地图学研究的核心问题之一，在传统手工地图制图环境下，没有制图综合就不可能生成不同用途要求、不同比例尺的地图；在计算机制图环境下，没有自动制图综合就不可能自动或半自动地生成不同用途、不同比例尺的数字地图；在地理信息系统环境下，没有地理信息的自动化综合就不可能实现空间数据的多尺度表示。地理信息理论是研究地理信息的特征、获取、组织、处理、分析和应用的理论，直接指导地理信息系统的研究。

二、地图（地理）信息工程学

这一部分在传统意义上是地图制图学。不过，这里引入了“信息”与“工程”的概念。引入“信息”概念，标志着地图学已进入信息社会，属于信息科学领域，涉及“地图信息”与“地理信息”；引入“工程”概念，标志着地图学的系统科学特征，涉及“地图制图信息系统”（cartographic information system，CIS）和“地理信息系统”（geographic information system，GIS）。工程是人类应用科学理论（主要是自然科学，也涉及一些社会科学）和技术手段来具体改造世界的实践过程；技术是根据生产实践经验和自然科学原理而发展成的各种工艺操作方法与技能。地图（地理）信息工程学属于技术与工程科学范围，涉及地图制图工程与地理信息工程，包括模拟和数字地图设计与生产、地图（与地理）数据库和地理信息系统建立与应用以及空间信息可视化、地理环境仿真与虚拟现实。

模拟和数字地图的设计与生产，是地图学的主阵地。模拟地图和数字地图是相互转换的。其核心内容包括地图设计与编绘原理、数字地图制图系统、地图电子出版系统等，以及一些相关的研究内容。

地图（地理）数据库与地理信息系统，是计算机出现以后的产物，是地图学内容、功能、方法在信息时代的扩展和延伸。

空间信息可视化（spatial information visualization）是科学可视化（scientific visualization）在空间数据处理领域的一个应用，仿真与虚拟现实（virtual reality，VR）技术是可视化技术最有效的应用与发展，它们使地图学具备多维、多时相、动态和可交互的功能，使人们可以在一个虚拟世界里从事各种活动，可视化是空间认知与信息传输的关键，作为地图（地理）信息工程学的内容，这无疑是地图学研究的深化。

三、应用地图学

严格意义上，应叫做地图（地理）信息应用学，是地图学现代科学体系的第三个层次。过去常被人忽视。其实，研究地图（地理）信息应用，对理论地图学与地图（地理）信息工程学的进步也有重要作用，这就是现在人们常说的“需求牵引”。其主要内容包括地图（模拟、数字）应用、地理信息系统应用、地理环境仿真与虚拟现实应用等。

模拟地图分析与应用，研究通过地图量测、计算和分析，为管理、预测、规划和设计提供科学依据，常常要用到一些数学方法，如相关分析、回归分析及各种统计分析。

数字地图的分析与应用，研究直接利用数字地图数据进行计算和分析，具有精度高、速度快等特点，用于解决各种科学、工程及军事应用问题，特别是现代化武器系统（如巡航导弹地形匹配制导系统）中必不可少的。

地理信息系统的应用，主要研究国民经济和国防建设各个领域利用地理信息系统管理、查询和分析相关地理信息的方法，应用十分广泛。在国民经济建设方面，如经济规划与决策、资源调查与利用、城市规划与管理、生态调查与环境保护、灾害预测与救援、水利工程、交通管理与智能交通、农业现代化与精细农业等；在国防建设方面，如作战指挥自动化，及数字化战场、数字化部队、数字化士兵等。可以这样说，凡是使用地图的部门、单位和个人，都需要使用相应的地理信息系统。

地理环境仿真与虚拟现实系统，主要研究通过这种技术扩展人的空间认知手段和范围，改变传统的仿真与模拟方式，生成以VR技术为支撑的战场环境工作平台和分布交互式作战指挥训练模拟平台，指挥员将在可“进入”的空间地理环境中进行交互式操作。在未来的信息化战场上，VR技术特别是分布式虚拟现实系统（distributed virtual reality，DVR），很可能是影响军事测绘保障的重大技术之一。DVR系统是基于网络的虚拟环境，在这个环境中，位于不同物理位置的多名指挥员或多个虚拟环境通过网络相联结，并共享信息。这样，多名指挥员就可能通过网络进行虚拟战争模拟。

应用地图学的研究对于理论地图学和地图工程学的发展具有反馈作用，可以

为理论地图学中的基础理论和应用理论提供丰富的实证资料，地图（地理）信息应用实践中的各种问题都需要理论地图学作出理论上的回答，更是地图（地理）信息工程学的过程、方法、技术、工艺的直接检验，提出新的要求，促进地图（地理）信息工程学的发展。

第四节　地图学与其他学科的关系

地图学作为一门独立的学科，有它自己独特的研究对象（第一节），但同时它与测绘学内部其他相邻学科之间、与测绘学以外的相关学科之间都有着密切的关系。

一、与学科内部其他相邻分支学科的关系

测绘学即测绘科学与技术作为工科类中的一个一级学科，它包含的二级学科除地图制图学与地理信息工程外，还有大地测量学与测量工程、摄影测量与遥感。

地理学作为理科类中的一个一级学科，它包含的二级学科除地图学与地理信息系统外，还有自然地理学与人文地理学。

传统地图学的形成，就是建立在大规模三角测量与近代地图测绘基础上的。所以地图学同大地测量学与地形测量学过去一直保持着密切的联系。现代条件下，地图学同现代大地测量、摄影测量与遥感同样有着十分密切的关系。

地图学与大地测量学的关系，主要表现在：用现代大地测量方法确定的地球形状和大小、坐标系统、高程系统和大地控制网等，是地图学特别是地图制图与地理信息系统所必需的空间数据基础框架；而地图学所研制的数字地图（电子地图）则与全球卫星定位系统（如 GPS）集成，构成车、船等移动目标的导航定位系统，以及地图更新系统，当然，合理布设大地控制网也需要借助于地图。

地图学与摄影测量与遥感的关系是非常密切的。地图学的第一个难题是信息源，遥感信息是地图学的重要信息源之一；全数字摄影测量系统是获得大比例尺数字地图的主要方法，卫星遥感技术与 GPS 技术集成获得的遥感影像信息可满足大、中、小比例尺地图制图的需要，与电子地图出版系统相结合可出版大比例尺模拟（纸质）地图；遥感影像制图是专题地图制图的主要方法。实际上从生产地图（数字的、模拟的）的角度讲，摄影测量与遥感也是一种地图制图方法。地理信息系统可以采用矢量数字地图数据与数字正射影像数据配准叠置的方法，既丰富了 GIS 的内容，又可更新 GIS 的空间数据。

传统地图学既是地理学的重要研究方法，又是地理学研究结果的可视化表达；现代条件下，地图学与自然地理、人文地理同样有着非常密切的联系。地图

学仍然是人文地理和自然地理的研究方法，也是自然地理、人文地理研究结果的可视化表达。所不同的是，现代条件下使用了计算机地图制图、卫星遥感制图，专题地图的品种更多，时效性更高，可揭示的地学规律更丰富，如地图学与地理学相结合产生了地学信息图谱，自然地理、人文地理与地理信息系统技术相结合建立各种专题地理信息系统。当然，地图制图、地理信息系统等地图学的研究领域，也都需要地理学提供地学规律的理论依据。

二、与学科外部相关学科的关系

已于前述，地图学具有跨学科的特征（第一节），因此它与学科（测绘学、地理学）以外的许多学科都有着密切的关系。

地图学属于信息科学的范畴，所以地图学与信息科学关系密切。作为信息科学两大支柱的计算机科学和通信网络技术，将使地图学更加现代化。计算机科学与技术的应用，使地图制图实现了由手工方式向自动化方式的跨越式发展；速度更快、集成度更高、存储容量更大、体积更小、多功能的新一代计算机，将实现海量地理空间数据的存储、管理和处理；通信网络技术的发展，为网络地理信息系统（web GIS）和网络地图制图的发展提供强有力的基础平台，使数字地图在网上分发成为可能，基于网格（grid）技术发展地理空间信息数据库和地理信息系统将在真正意义上实现信息共享和远程互操作。

地图学与数学科学的关系越来越密切。构成地图数学基础的数学法则——地图投影，就是数学科学在地图学中应用的范例，正是运用数学方法才解决了地球曲面与地图平面之间的矛盾以及不同地图投影之间的相互转换；地理空间信息数据库和地理信息系统，依赖数学才能解决数据模型的形式化描述问题，地理目标（或图形目标）之间的方向关系、拓扑关系和度量关系需借助于数学方法来解决，空间分析更是需要利用数学方法来建立各种空间分析模型；地图自动制图综合的实现要以人工智能为基础，但更多的还是采用现代数学方法建立各种模型和算法。

地图学与艺术的关系是众所周知的。著名地图学家英霍夫（Imhof）认为“地图制图学是带有强烈艺术倾向的技术科学”；英国皇家学会在《地图学技术术语词汇表》（1966 年）中称地图制图学是“制作地图的艺术、科学、技术”；国际地图学协会（ICA）1973 年也指出“地图学，制作地图的艺术、科学和技术，以及把地图作为科学文件和艺术作品的研究”。制作一幅艺术品肯定不是地图学家的事，但要设计、制作和生产一幅优秀地图作品，没有艺术素养是不行的。艺术是用艺术形象反映客观世界，地图制图则是在对制图对象进行科学抽象和分类（分级）的基础上用符号及其组合表达客观世界，符号就包括形状、大小、颜色及其他因素，这些因素无不与艺术密切相关。传统地图学把“地图整饰”作为分

支学科，现代地图学研究地图的视觉感受理论，不是没有道理的。不能简单地把地图作品视为艺术作品，但艺术对提高地图（包括纸质地图和电子地图）的可视化效果是非常有效的。

地图学与科学技术哲学的关系是被地图学发展的历史所证实了的，也是当今地图科技工作者需要重视的问题。科学技术哲学是对科技时代提出的科技及其相关问题、要求和挑战的哲学回应。地图学中的相关问题，如地图学的两个基本矛盾（见第一章第一节）的分析和解决，地图符号数量的增加（细分）和减少（概括），地图表示方法的“立体—平面—立体”，地图的分析与综合，地理信息系统的二维与三维、静态与动态等，都遵循着矛盾的运动、对立统一和否定之否定的规律。当今，我们要利用科学技术哲学的理论和方法，来研究地图学的过去、现在和将来，只有这样，我们才能把握地图学未来的发展。

第五节　地图学发展的历史与趋势

地图学是一门古老的科学，有着几乎和世界最早的文化同样悠久的历史。地图学又是一门充满生机与活力的科学，在长期的历史发展中逐渐充实和完善起来，如今已成为一门拥有一定理论基础和现代化技术手段的科学。研究地图学发展的历史轨迹，对于认识地图学发展的基本规律，理解当今地图学的发展趋势，把握地图科学前沿，具有现实而深远的意义。

一、地图学发展的历史

地图学在其漫长的发展进程中，经历了古代地图学的萌芽与发展、近代地图测绘与传统地图学的形成，地图学的现代革命与信息时代的地图学等三个时期。

（一）古代地图学的萌芽与发展

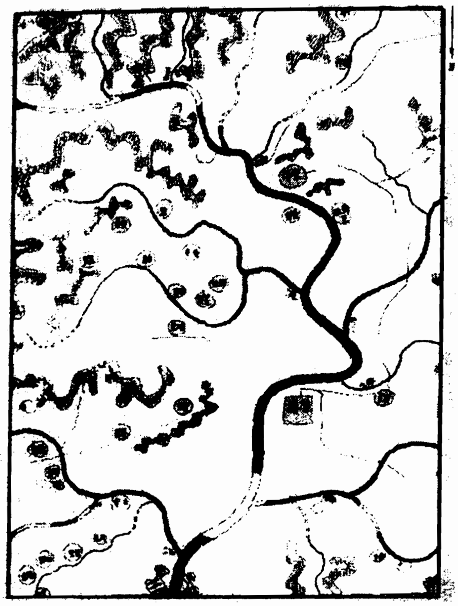
地图起源于上古代，它的产生和发展是人类活动的实际需要。埃及尼罗河的季节性泛滥和我国黄河流域堤防和灌溉工程的兴建，诞生了农田水利测量即原始地图的测绘。在国外，已经发现的最古代的原始地图是古巴比伦人在陶片上绘制的美索不达米亚地区的巴比伦地图，迄今已有4500余年的历史；埃及东部沙漠地区的金矿山图，是古埃及人在公元前1330至公元前1317年间绘制的。在中国，地图的传说可以追溯到4000年前的夏代或更早的时期。记载于《左传》中的《九鼎图》和后来在《山海经》中绘有山、水、动植物及矿物的原始地图等，是当时史料中众多关于地图记述的代表。

随着原始社会的逐渐解体和奴隶制国家的建立，产生了行政统治和军事征战的需要，在客观上促进了地图的发展。3000年前西周初期绘制了我国地图学史

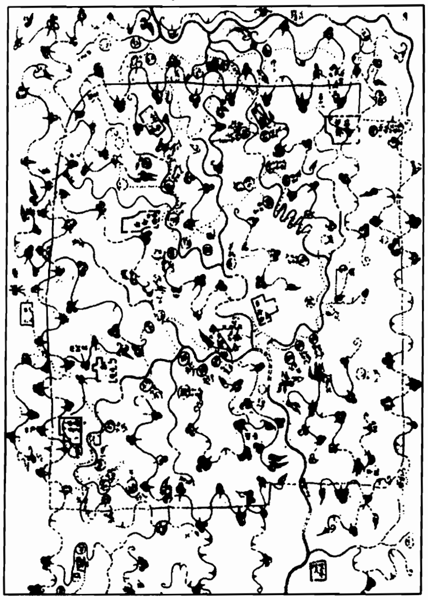
上第一幅具有实际用途的城市建设图——洛邑城址地图。由于地图有明疆域田界的作用，所以从周朝开始，地图就被统治阶级作为封邦建国、管理土地必不可少的工具。这就是《周官》一书中所说的"地讼，以图正之"。《管子·地图篇》对当时地图的内容和地图在战争中的作用进行了较详细的论述，明确指出"凡兵主者，必先审之地图"。只有这样，才能"行军袭邑，举措知先后，不失地利"。《战国策》记载着荆轲为刺秦王而献亢地图的故事，就是因为地图象征着国家主权和疆域土地，献地图就能接近秦王，可见封建统治阶级对地图的重视了。

无论是在西方还是在东方，古代地图的发展都有光辉灿烂的一页。在国外，公元前 6 世纪至公元前 4 世纪，古希腊在自然科学方面有很大发展，尤其在数学、天文学、地理学、大地测量学、地图制图学等领域，涌现出了一批卓越的学者，他们在许多方面都提出了新概念。例如：米勒人阿那克西曼德（公元前 610—公元前 547 年）提出了地球形状为椭圆形的假说；到了公元前 2 世纪，地球为球体的学说为更多的人所接受；埃拉托斯芬（公元前 276—公元前 195 年）首先利用子午线弧长推算地球大小，从日影测算出地球的子午圈长为 39700km，第一次编制了把地球当作球体的地图；天文学家吉帕尔赫（公元前 165—公元前 125 年）创立了透视投影法，利用天文测量方法测定地面点的经度和纬度，提出将地球圆周划分为 360°，等等。在中国，地图经过春秋战国时期的广泛应用，在内容选取和表示方法上都积累了不少经验。秦始皇统一中国后，对地图的需求量进一步增大。从划分郡县，到实行行政和经济管理；从修筑长城，到建筑遍布全国的交通要道、兴修水利、开凿运河等大型工程，都离不开地图。尽管秦王朝的统治只有 20 多年，但到汉灭秦时，秦地图的数量已相当可观了。汉代西域地图的制作，与两汉（东汉、西汉）通西域有直接关系。西域地图多用于军事。1973 年湖南长沙马王堆三号汉墓出土的三幅地图，为人们提供了研究汉代地图的珍贵实物资料。地形图、驻军图（图 2.8）和城邑图均绘在帛上，为公元前 168 年以前的作品。《地形图》是一幅边长为 98cm 的正方形彩色普通地图，其范围包括东经 111°～112°19′、北纬 23°～36°之间，相当于今湖南、广东、广西三省区交接地带；地图内容包括山脉、河流、聚落、道路等要素；图上绘有 80 多个居民点（中心较大城镇为"深平"），20 多条道路，30 多条河流，采用闭合曲线表示山体轮廓及其延伸方向，并绘以高低不等的 9 条柱状符号，以表示九嶷山 9 座不同高度的主要山峰。《驻军图》是一幅高 98cm、宽 78cm，用黑、朱红、田青三色彩绘的军用地图，在简化了的地理底图上，用朱红色突出表示 9 支驻军的名称、布防位置、防区界线、指挥城堡、军事要塞、烽燧点、防火水池等军事地形要素，与军事驻防有密切联系的居民地、道路也作为重点要素表示，还记载了居民户数、移民并村的情况等。《城邑图》高约 40cm、宽 45cm 左右，图上绘有城垣范围、城门堡、城墙上的楼阁、城区街道、宫殿建筑等。长沙马王堆汉墓地图的发

现，给中外地图学史增添了光辉灿烂的一页。其时间之早，内容之丰富可靠都让人惊讶，地图绘制原则和绘制水平及其应用价值，都处于当时世界领先地位。



(a)



(b)

图 2.8 1973 年湖南长沙马王堆三号汉墓出土的地形图（a）和驻军图（b）

古代希腊的托勒密（90—168 年）和我国的裴秀（224—273 年）好似两颗东西辉映的灿烂的明星。他们的著作（托勒密的《地理学指南》和裴秀的《禹贡地域图十八篇·序》）标志着上古时代地图学的总结性成就，反映了东方和西方不同的发展特点，奠定了古代地图学的基石，对于后来的地图制图生产产生过长期而深远的影响。

托勒密是著名的数学家、天文学家、地理学家和地图制图学家，他的《地理学指南》是古代地图学的一部巨著，总共 8 卷。卷一的内容包括地图制图的理论、球面投影和普通圆锥投影的方法及说明文字；卷二至卷七为地名资料，用经纬度表明，地名包括城市、河源、河口、山脉、海角及半岛名称等约 8000 个，对当时已知的地球的各个部分作了比较详细的叙述；卷八除少数文字说明外，有 1 幅世界地图和 26 幅分区地图，这是世界上最早的地图集雏形，其中世界地图采用圆锥投影，包括经度 180°、纬度 80°的地域（图 2.9）。该图在西方古代地图学史上具有划时代的意义，一直沿用到 16 世纪。

裴秀担任过司空、地官，专管国家的户籍、土地、税收和地图，后任宰相。他以当时的《禹贡》为依据，进行核查，绘制了 18 幅《禹贡地域图》，并将《天下大图》绘制为《方丈图》。更为重要的是，裴秀总结了前人和自己的制图经验，

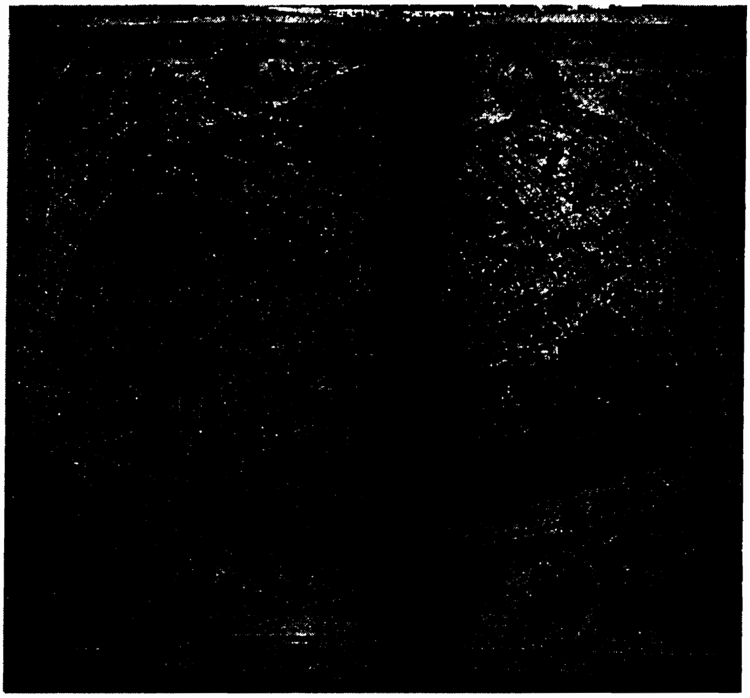


图 2.9 托勒密《地理学指南》中的世界地图

创立了新的制图理论“制图六体”，即分率、准望、道里、高下、方邪、迂直。“分率”，即比例尺；“准望”，即方位；“道里”，即距离；“高下”，即相对高程；“方邪”，即地面坡度起伏；“迂直”，即实地的高低起伏距离与平面图上距离的换算。裴秀还反复阐述了“六体”之间的相互制约关系及其在制图中的重要性。他认为，绘制地图如果只有图形而没有比例尺（分率），便无法进行实地和图上距离的比较和量测；如果有比例尺而不考虑方位（准望），那么地图的一隅虽然可能达到足够的精度，但在地图的其他部分就一定会相差很远；有了方位而没有道路里程（道里），就不知道图上各地物的远近，居民地之间就如同山海阻隔，“不能相通”；有了“道里”而没有按“高下”、“方邪”、“迂直”来校正，那么道路的里程必然和实际的距离有差别，结果方位又会发生偏差。所以，“制图六体”是绘制地图时缺一不可的六个方面。裴秀的《禹贡地域图十八篇·序》涉及地图制图学内容之广泛，概括之精辟，是我国古代制图理论书籍中少有的作品，特别是“制图六体”，不仅开我国地图编制理论之先河，而且在世界地图学史上也是一个重大发现，标志着我国古代地图学的辉煌成就，奠定了我国地图学的最初基础，裴秀因此被后人称为中国地图学之父。

托勒密的《地图学指南》和裴秀的《禹贡地域图十八篇·序》两部不朽的著作奠定了古代地图学的基石，但是，公元 300～1300 年间的中世纪，在地图学史

上是一个漫长的黑暗年代。在这个时期，由于宗教占支配地位，地球是球形的概念遭到排斥，地图不再是反映地球的地理知识的表现形式，而成为神学著作中的插图。这类地图几乎千篇一律地把世界画成一个圆盘，既无经纬网格，又无比例尺，完全失去了科学和实用价值。这种状况一直持续到公元 1000 年，启蒙思想才开始在地图学和地理学领域表现出来。这主要表现在：阿拉伯人保存并翻译了托勒密的《地理学指南》，并在公元 9 世纪曾多次试图测定地球的大小；由于几次宗教战争，通过传教士和商人（如马可波罗）的旅行及人们的迁移和商品流动的增加，开始唤起人们对外部世界的兴趣；13 世纪出现的反映地中海和邻近海域进行航海活动成果的波尔托兰（Portolan）海图，一直视为标准海图使用，直到 17 世纪初期用墨卡托投影绘制的海图得到应用为止，海图制图得到了继承和发展。在中国，在裴秀所著《禹贡地域图十八篇·序》以后的 500 年间，地图制图基本上停滞不前。只是在唐王朝统一中国后，国内形势比较安定，社会生产力发展很快，科学文化得到进一步发展，地图学方面才取得了一些值得称许的成就。裴秀倡导的地图编制原则和方法，得到了唐代著名地图学家贾耽（730—805 年）等的继承和发展。贾耽通过对古今地图的对比分析和调查访问，编制了《关中陇右及山南九州图》一轴，树立了边疆险要地图的旗帜，形成了我国古代地图发展的一个重要分支；他的另一杰作《海内华夷图》一轴和说明该图的《古今郡国县道四夷述》四十卷，在制图方法上吸取了裴秀制图理论的优点，讲究“分率”（一寸折成百里），图上古郡县用黑墨注记，当代郡县用朱红色标明，进一步确立了传统的历史沿革地图的表示方法，对后世产生很大影响。宋朝统治中国近 320 年，随着科学技术的进步，地图制作也有很大发展。北宋统一不久便编绘出第一幅规模巨大的全国总舆图，即《淳化天下图》，系根据各地所贡地图 400 余幅编制而成，在著名的西安碑林中，保存有一块南宋绍兴七年（公元 1137 年）刻的石碑，碑的两面分别刻着《华夷图》和《禹迹图》。根据图名、绘法及图上的说明，《华夷图》可能是因袭唐代贾耽的《海内华夷图》制成的（制图时间约在 1068～1085 年）；《禹迹图》上刻有方格，是目前看到的最早的“计里画方”地图，地图图形更为准确，图上所绘水系，特别是黄河、长江的形状很接近现代地图。宋代有代表性的地图学家沈括（1031—1095 年），在地图测绘方面也有许多贡献。例如，为疏通渠道进行过 840 里的水准测量，发现地磁偏角的存在，改进了指南针的装置方法，使用二十四方位的划分等；他编绘了《宋令图》，即《天下州县图》，实际上是部地图集，地图制作方法与裴秀的主张大同小异。元、明两朝是中国历史上统一时间较长的封建王朝，在地图制作方面也有长足的进步。例如：郭守敬在测量史上第一个提出了“海拔高程”的概念，出现了我国第一个地球仪；特别是元朝朱思本（1273—1333 年）《舆地图》的绘制成功，使唐宋以来的地图为之一振。受朱思本地图的影响，明代出现了罗洪先（1504—1564

年）等著名地图制图学家，经过他们的努力，我国古代地图制图学走上了成熟的阶段。特别值得一提的是，在这一时期内，中国著名航海家郑和（1371—1435年）先后七次航行在南洋和印度洋上，历时20余年（1405—1431年），经历了30多个国家，远到非洲东海岸的木骨都束（今索马里共和国首都）和阿拉伯海、红海一带。郑和不仅揭开了15世纪海上探险的序幕，而且有许多不同于15世纪其他西方探险的特点。第一，规模之大，次数之多，时间之长，在当时都是史无前例的；第二，郑和是以和平使者的身份，跟海外各国建立外交关系，进行贸易，与当时西方探险队的掠夺动机是不同的；第三，郑和的同行者们留下四部重要地理著作，产生了我国第一部航海图集《郑和航海图集》，对我国地图学的发展做出了巨大的贡献。

（二）近代地图测绘与传统地图学的形成

近代地图的发展是14世纪以后欧洲新兴资本主义时代的产物。这个时期地图学发展的主要历史事件是：15世纪末至17世纪中叶的地理大发现，奠定了世界地图的地理轮廓；16世纪地图集的盛行，总结了16世纪以前东方和西方地图学的历史性成就；17世纪以后的大规模三角测量和地形图测绘，奠定了近代地图测绘的基础；18世纪以后专题地图的萌芽和发展，照相制版方法的出现和航空摄影测量技术的发明，导致了地图生产技术工艺的变革；19世纪末和20世纪中叶，形成了系统而完整的关于地图制作的技术、方法、工艺和理论。

公元15世纪以后，欧洲各国封建社会内部的资本主义开始萌芽，历史进入文艺复兴、工业革命和地理大发现时期，发现了全世界进入文明时代的各民族均前所未知的大片陆地和水域，开辟了若干前所未有、前所未知的重要航路和通道，把各大洋、各大洲、各地区直接联系起来。在这个时期，哥伦布、达·伽马、麦哲伦等人的不朽成就，激起了人们对迅速扩展的世界的兴趣，地图编制和出版迅速发展了起来。意大利人哥伦布（约1451—1506年），在1492～1504年间四次远航，是横渡大西洋的第一人，发现了美洲加勒比海地区的全部岛屿和中美洲大陆的部分地区，并为发现西半球的两个大陆——北美洲和南美洲奠定了基础，基本上确定了大西洋东西两端的宽度。葡萄牙人达·伽马（约1469—1524年）于1498年率船队经过大西洋，绕过非洲，横渡印度洋，到达印度洋西南海岸的卡利库特，成功地开辟了从欧洲到东方的新航路，建立了欧洲和南亚之间的直接联系，同时把地中海世界和东南亚、东亚地区国家联系起来，他的远航基本上确定了非洲的形状和大小，确定了从非洲南端到印度的距离，并进一步证实了地球学说和海洋优势论。葡萄牙人麦哲伦（约1480—1521年），在1519～1521年间率西班牙船队一直向西，横渡大西洋，绕过南美洲，穿过麦哲伦海峡，横渡太平洋，经过菲律宾、印度尼西亚等地，横渡印度洋，经非洲南端重新进入大西

洋，返航回国，完成了人类历史上第一次环球航行，证实了地球是球形的学说，证实了美洲和亚洲之间存在一个比大西洋大得多的大洋即太平洋，基本上确定了南美洲南、北两端的跨度，以及从美洲南端到菲律宾的距离和太平洋东西两端的宽度。

从我国郑和揭开15世纪海上探险的序幕，到哥伦布、达·伽马和麦哲伦等的地理大发现，基本上奠定了世界地图的地理轮廓。

16世纪在地图学历史上是地图集兴起和盛行的时期，以荷兰墨卡托的《世界地图集》和中国罗洪先的《广舆图》为代表，总结了16世纪以前东方和西方地图学的历史性成就。

墨卡托（1512—1594年）是欧洲文艺复兴时期的地理学家和地图制图学家。他一生致力于地图制图工作。主要作品有：巴勒斯坦地图1幅（1537年），世界地图1幅（1538年），佛兰德地图1幅（1540年），地球仪1个（1541年），天球仪1个（1551年），欧洲地图15幅（1554年），不列颠群岛地图8幅（1564年）。他创立了等角正轴圆柱投影，并于1568年用这种投影编制了著名的航海图——世界地图。由于他是第一个把这种投影用于航海图的编制，所以后人命名为墨卡托投影。在墨卡托投影的海图上，等角航线被表示成直线，航海作业十分方便，至今仍被各国广泛采用。1569年开始出版他的《欧洲国家地图集》的第一部分；第二部分分别于1585年和1589年出版；第三部分在他逝世后于1595年出版。全图集共107幅图。在图集的封面上有古希腊半人半神阿特拉斯（Atlas）研究天地万物的标记，从此“Atlas”一词便成为地图集的专称。

罗洪先是明代一位杰出的地图学家，他通过“考图观吏”，发现“天下图籍，虽极详尽，其疏密失准，远近错误，百篇而一，莫之能易也”。在访求调查的过程中，他偶得元人朱思本地图，并把朱图与以前所见地图作比较，认为朱图坚持我国传统的计里画方制图法，有较好的精度，各地物要素丰富。于是，罗洪先决定把朱思本地图作为绘制新地图的蓝本，扬朱图之长，避朱图之短。他认为朱图“长广七尺，不便卷舒”。于是，他按计里画方的网格法加以分幅转绘，并把收集到的地理资料补入新图，积十年之寒暑而后成。因把朱图“广其数十”幅，故取名为《广舆图》，发展成为我国最早的综合性地图集。据考证，《广舆图》确实继承了《舆地图》的许多优点，克服了不足，从而把朱图发展到一个新的高度。这主要表现在：按照一定的分幅方法改制成地图集的形式；除16幅分省图、11幅九边图和5幅其他诸边图是根据朱图改绘的外，其余地图均为罗洪先所增；创立地图符号24种，很多符号已抽象化、近代化，它对增强地图的科学性，丰富地图内容起了重要作用，在我国地图学史上是一个重要的进步。正因为如此，《广舆图》成为明代有较大影响的地图之一，前后翻刻了六次，自明嘉靖直到清初的250多年间流传甚广，基本支配了这一时期地图的发展。

随着资本主义的发展，航海、贸易、军事及工程建设越来越需要精确、详细的更大比例尺地图。加之工业革命后，科学技术水平得到了提高，新的、高精度的测绘仪器相继发明，如平板仪及其他测量仪器，使测绘精度大为提高，三角测量成为大地测量的基本方法，很多国家进行了大规模全国性三角测量，为大比例尺地形测图奠定了基础。由于采用平板仪测绘地图，使地图内容更加丰富，表示地面物体的方法由原来的透视写景符号改为平面图形，地貌由原来用透视写景表示改为晕滃法，进而改为用等高线法；编绘地图的方法得到了改进，地图印刷由原来的铜版雕刻改用平版印刷。到了 18 世纪，很多国家开始系统测制以军事为目的的大比例尺地形图。

19 世纪末，资本主义各国出于对外寻找市场和掠夺殖民地的目的，迫切需要了解世界地理情况，因而产生了编制统一规格的世界详图的要求。1891 年在瑞士伯尔尼召开的百万分之一地图国际会议上，讨论并通过了编制百万分之一地图的决议；1909 年在伦敦召开的百万分之一地图国际会议上，通过了百万分之一地图的基本章程；1913 年在巴黎召开了第二次国际百万分之一地图会议，拟定了编制百万分之一地图的方法和规格。这些对以后各国国际百万分之一地图的编制起了积极的推动作用。

西方科学制图方法在我国引起重视，是从清初康熙年间测绘《皇舆全览图》开始的。康熙聘请了德国、比利时、法国、意大利、葡萄牙等国的一批传教士，采用天文测量和三角测量相结合的方法，进行了全国性的大规模的地理经纬度和全国舆图的测绘。从康熙二十三年开始酝酿到四十七年始测，在技术、仪器和组织等方面进行了 10 多年的准备工作。清初大规模测绘，从康熙四十七年开始，五十七年结束，历时 10 年。主要做了三件事：一是测量了全国各地的经纬度点；二是实测了全国地图；三是以实测地图为基础编制了《皇舆全览图》等地图集。《皇舆全览图》采用伪圆柱投影，按省分幅，共 41 幅，括地范围西至西经 4°，北至北纬 50°。该图是我国首次全国性的实测地图，它对近代中国地图的发展有着极为重要的意义，开创了我国实测经纬度地图之先河。首先，规定以 200 里合地球经线上 1°的弧长，来统一里程的标准，比法国 18 世纪按赤道长度规定米制标准的倡导要早；1702 年沿过北京的中央经线测定了由霸州（今河北省霸县）到胶河的距离，1710 年又在东北实测了齐齐哈尔以南北纬 41°～47°之间的每度经线弧长，结果各不相同，证明“地球非球形而近椭圆体”，为牛顿的地球“扁圆说”提供了有力的证据，是世界测地史上一大贡献；同时，第一次对我国宝岛台湾省进行了实测。由于康熙时期新疆、西藏奴隶主贵族经常叛乱，测绘工作难以进行，因而造成了《皇舆全览图》所括中国领土不完整。乾隆继位后，平定了新疆和西藏的叛乱，先后对新疆和西藏进行了经纬度测量和地图测绘，于乾隆二十四年（1759 年）完工，尔后在《皇舆全览图》基础上，增加新疆、西藏新测绘

地图资料，编制成一部新地图集《乾隆十三排地图》（也叫《乾隆内府地图》），使我国实测地图最终完成。这是一部当时世界上最完整的亚洲大陆全图，西至西经 90°以西，北至北纬 80°。

康熙、乾隆两朝实测地图的完成，把我国地图学的发展提高到了一个新的水平，并影响了各省区地图集的编制，各种版本的省区地图集不断涌现。到了清朝中期，地图学的发展不快，地图内容没有新的改进。可是到了清朝末年，资本主义在中国有所发展，清政府重视开办工厂、矿山和兴建新军事等事项，迫切需要测绘较详细的地图。于是，在清同治年间提出编制《大清会典舆图》，但真正开始工作是光绪十二年（1886 年）在北京建立“会典馆”以后。“会典馆”负责组织《大清会典舆图》的编纂，各省用了 3～5 年时间完成此项工作。清末这次省图集编绘在中国地图发展史上具有极为重要的意义，它是中国传统古老的制图法向现代制图法转变的标志。其突出表现是：计里画方制图法与经纬网制图法混用，传统的地图符号与现代的地图符号混用。我国采用新法（经纬度制图法）绘制的第一部世界地图集，是清末地理学家魏源（1794—1859 年）编制的《海国图志》。在编制方法上，完全脱离了中国传统的计里画方法，采用经纬度制图法，统一起始经纬度；在地图投影的选择上，根据地图所括面积及区域所处地理位置，比较灵活地选用所需地图投影（如圆锥投影、彭纳投影、散逊正弦曲线投影、墨卡托投影等）；由于要在同样大小的图纸上表示不同大小的国家，采用了各种不同的比例尺；地物符号的设计与现今的世界地图有类似之处，但大部分符号仍保持古地图的特征。虽然图集还存在不少缺点，但在 100 多年前能编制出这样一部篇幅巨大、内容丰富、有图有文的世界地图集，乃是一个非常了不起的贡献，不愧为中国地图学史上一部关于世界地图集方面的开创性著作。

从 19 世纪开始，由于自然科学的进步与深化，普通地图已不能满足需要，于是产生了地质、气候、水文、地貌、土壤、植被等各种专题地图。其中，德国伯尔赫斯编制出版的自然地图集，巴康和海尔巴特逊编制出版的巴特罗姆气候地图集，俄国道库恰耶夫编制的北半球土壤图与俄国欧洲部分土壤图等，都对当时专题地图的发展起了一定的推动作用。20 世纪初出现飞机，很快研制成航空摄影机和立体测图仪，从此地图测绘开始采用航空摄影测量方法。同时，黑白航空像片成了专题地图制图的主要资料来源，加上照相平版彩色胶印技术的应用，使地图特别是专题地图的科学内容、表现形式和印刷质量都提高到了一个新的水平。这主要表现在 20 世纪 50 年代前后编制出版了一大批专题地图集，例如苏联世界综合地图集、意大利自然经济地理图集、日本气候地图集、英国气候地图集、苏联海洋地图集等。我国专题地图的编制主要集中在历史地图方面，例如：杨守敬（1839—1915 年）集前人之大成，经过 15 年的努力，编制《历代舆地沿革险要图》70 幅，是我国历史沿革地图史上旷世绝学的一部历史沿革地图集。

该图大体以水经注为依据，对郡县与山川相对位置进行了许多分析考证工作，上溯春秋，下迄明末，按朝分卷，以《乾隆内府地图》作为底图，采用经纬度制图法，对古今要素采用唐代贾耽朱墨两色表示法，木版套印。杨守敬的《历代舆地沿革险要图》的编撰刊行，为现代研究郡县变化、水道迁移等方面的科学问题提供了非常有用的资料，为我国历史地理学和历代沿革地图的发展做出了不可磨灭的巨大贡献。

传统地图学的形成与建立在三角测量基础上的近代地图测绘是紧密联系的。两次世界大战以后，大约在 20 世纪 50 年代末和 60 年代初，地图学作为一门独立的科学已经形成。一方面，由于与地图学有关的地理学、测量学、印刷学相继成为比较完整的理论学科和技术学科，为地图学的形成与发展提供了外部条件；另一方面，由于地图学本身在漫长的地图生产过程中积累了丰富的经验，经过不同时期各国地图制图学家的总结和概括，形成了系统而完整的关于地图制作的技术、方法、工艺和理论，作为地图学分支学科的地图投影、地图编制、地图整饰和地图印刷等已趋于稳定。我们把这个时期的地图学称为传统地图学，它研究的对象是地图制作的理论、技术和工艺。在地图制图的理论方面，地图投影、制图综合、地图内容表示法和符号系统等是研究的核心；在地图制作技术方面，主要围绕地图生产过程研究编绘原图制作技术、出版原图制作技术和地图制版印刷技术；在地图制作的工艺方面，主要研究地图生产特别是地图印刷工艺。很明显，传统地图学是以地图制作和地图产品的输出作为自己的目标的。在这种情况下，把传统地图学定义为“制作地图的艺术、科学和技术”是合适的。

传统地图学是 20 世纪 50 年代末和 60 年代初以前地图学成果的积累和科学的总结，又是现代地图学形成与发展的基石和起点。

（三）现代地图学内容的扩展和延伸

传统地图学是地图生产之本，长期以来成功地指导着地图的生产。但是，它存在三个明显缺陷：其一，以经验总结为主，忽视基本理论的建设与研究；其二，以联系对本学科有直接关系的学科为主，忽视同更高层次的学科之间的联系；其三，以地图制作为主，忽视地图应用的研究，尤其忽视地图制作者自身认识活动和地图使用者认识活动规律的研究。可以认为，传统地图学是一个比较封闭的体系。在这种情况下，传统地图学要获得实质性的进展是很困难的，甚至是不可能的。这就迫使地图学家们不得不思考走出传统地图学的封闭体系，向系统外部从深层次结构来寻求地图学进一步发展的源泉。而这一切正好是发生在 20 世纪 50 年代信息论、控制论、系统论三大科学理论问世和电子计算机诞生之后，这不仅对现代工程技术的发展有着决定性意义，而且是继相对论和量子力学之后又一次“彻底改变了世界科学图景和当代科学家的思维方式”，无疑也为地图学

的发展指明了方向。从此，地图学进入了新的发展时期。

当地图学家们在思想上认识到传统地图学的缺陷，并走出传统地图学的“封闭体系”后，伴随而来的是地图制图技术上的革命和理论上的创新。

地图制图技术上的革命主要表现在：电子计算机技术和自动化技术为地图学的发展开辟了崭新的道路；遥感图像制图的兴起为地图信息的获取和处理提供了新的方法和手段；地图印刷新材料、新技术、新工艺为提高地图印刷质量创造了有利条件。20 世纪 50 年代开始的计算机辅助地图制图研究，经历了原理探讨、设备研制、软件设计，到 70 年代已由实验试用阶段发展到比较广泛的应用；进入 80 年代后，在计算机不断更新换代的同时，开始应用一些高速度、高精度新型机助制图设备，越来越重视机助制图软件的研究，纷纷着手建立地图数据库，在地图数据库基础上，由单一的或部门的机助制图系统发展为多功能、多用途和综合性地图信息系统。20 世纪 60 年代迅速发展起来的遥感技术已在天气预报、资源调查、灾害监视、环境污染监测等方面发挥越来越大的作用，已成为空中对地信息获取和采集的主要技术手段；进入 90 年代已不仅拥有覆盖全国的航空像片和航测地形图、覆盖全国以至全球的卫星影像和数据，能满足较大比例尺地图制图的精度要求，遥感影像制图已成为专题地图制图的主要方法；全波段、全天候航空遥感影像的应用促进了专题地图制图的开拓和深化，遥感信息已成为地图学的重要信息源之一，而且所占比例将越来越大；与此同时，全球卫星定位系统（GPS）技术，可以保证在获取遥感影像的同时，同步地获取相应瞬间卫星平台和地面的三维定位信息，利用 GPS 广域差分技术能使单轨实时定位精度达到 1～5m，利用相位差分技术可获得优于厘米级的定位精度，这对于大、中、小比例尺地图制图都是能满足要求的。地图印刷材料和技术工艺等方面都发生了很大变化，特别是进入 20 世纪 90 年代以来，地图电子编辑出版系统相继问世，打破了长期以来传统地图制图与出版的分工界线，出现了以全数字地图制图与出版方式代替传统手工生产方式的新的转机，并着手研究数字环境下“地图设计—地图编绘—分色挂网胶片输出”的一体化数字制图与出版系统，生产了一批地图和地图集，进而研究直接数字地图制版、直接数字地图印刷新技术，这必然导致地图制图技术上的根本变革，地图生产已开始由传统手工方式向数字化、自动化方式转变。

地图制图技术的进步，必然对地图学理论提出新的要求，同时也支持地图学理论的研究。很长一个时期内，国内外地图学界的传统看法都是从生产和技术的观点来研究地图及其生产过程，把地图学称作研究地图编制技术和方法的科学，20 世纪 60 年代以前国内外的地图学教科书都是这样描述的。20 世纪 60 年代中期，有的地图学者开始提出把地图学分为“理论地图学”和“实用地图学”两部分。例如：1963 年瑞士地图学家英霍夫主张“理论地图学”的研究范围包括地

图的主题、地图的图形和结构、地图的评价和实验、地图的发展等，强调“理论地图学”应是联系技术和艺术、技术和有关地表现象研究的不同学科之间的桥梁；他称实用地图学是“高水平的手工劳动”，“反映了对地图科学的了解和艺术学技巧的应用”，把地图设计、编纂、绘图和地图印刷划归“实用地图学”。把地图学分为“理论地图学”和“实用地图学”是将地图学探索的范围向前推进了一步，是地图学发展的必然趋势，也是说明地图制图技术上的变革对地图学理论的新的更高的要求。

地图制图技术和地图学理论是推动地图学不断前进的两个轮子。在这两个“轮子”的推动下，地图学进入了信息社会。作为信息时代的地图学，其主要标志是：地理信息系统的出现和发展，拓展和延伸了地图学的功能；空间信息可视化与虚拟现实技术的应用，已成为地图学的新的生长点。

地理信息系统是信息时代人们认知地理环境并指导实践的现代化工具。在计算机出现之前，人们主要是利用传统地图（纸质）获得自己对地理空间环境的认识，在地图上进行各种量算和规划设计。然而，传统地图一旦制成，它所表示的内容就被“固化”了，它只是连续变化着的现实世界的瞬时记录，即把具有时间特征的连续变化的地理空间环境描述为存在于某一特定时间相对静止的状况，很难甚至不可能进行动态分析。电子计算机出现后，人们就试图构建一种工具来采集、存储、管理、利用地理空间环境信息，导致 1956 年奥地利首先利用计算机建立地籍数据库，并进一步发展为土地信息系统（land information system，LIS）用于地籍管理。1965 年，加拿大测量学家汤姆林逊（R. F. Tomlinson）首先提出“地理信息系统”这一术语，并建立世界上第一个地理信息系统一加拿大地理信息系统（CGIS）。这可算作地理信息系统的起步。尽管当时的 GIS 带有更多的机助制图色彩，查询功能非常简单，分析功能基本没有，但是 GIS 的兴起确实引起了社会的强烈反响，许多国家的政府部门和私人公司对此表现出了极大的兴趣，相继建立了不少与 GIS 有关的组织机构，对传播 GIS 和发展 GIS 技术起了重要作用。进入 20 世纪 70 年代以后，随着计算机硬软件水平的提高，地理信息系统朝实用化方向迅速发展，一些经济发达国家先后建立了许多专题性的 GIS，在自然资源管理和应用方面发挥了重要作用。80 年代兴起的计算机网络技术，使 GIS 的传输时效得到了极大的提高，它的应用从基础信息管理与规划转向更复杂的区域开发和预测预报，与卫星遥感技术相结合用于全球监测，为宏观决策提供信息服务。在这个期间，GIS 的系统软件和应用软件发展很快，极大地促进了地理信息产业的形成，使之成为信息产业的重要组成部分。

以地理数据库为基础的地理信息系统，体现了包括地理空间信息的快速获取、存储、转换、分析和利用在内的信息传输和信息反馈的完整过程，它是人们进行空间认知的最有效的方法，它的最大特点是摆脱了现象描述和静态分析的困

境，获得了模拟与预测的自由。关于地理信息系统与地图学的关系，陈述彭教授在《空间技术应用与资源环境问题》一文中作了精辟的论述。他指出：“地理信息系统事实上就是地图的一个延续，就是用地理信息系统扩展地图工作的内容。”把地理信息系统和地图学加以比较就可以看出，前者是后者的方法与功能在信息时代的扩展与延伸，两者是一脉相承的，它们都是空间信息处理的科学，只不过地图学强调的是图形信息传输，而地理信息系统则强调空间数据处理与分析。

把空间信息可视化与虚拟现实技术作为地图学的一个新的生长点，无疑有着重要的意义。地图本来就是可视的。不过，我们这里说的“可视化”，指的是运用计算机图形图像处理技术，将复杂的科学现象和自然景观甚至十分抽象的概念图形化，以便于理解现象、发现规律和传播知识。可视化理论与技术用于地图学始于1993年初，国际地图学协会（ICA）于1993年在德国科隆召开的第16届学术讨论会上成立了一个“可视化委员会”，主要任务是定期交流可视化技术在地图学领域的发展状况和研究热点，并加强与计算机领域的协作。1996年，该委员会与美国计算机协会图形学专业组进行了跨学科的协作，制订了一项称为“Cartoproject”的行动计划，旨在探索如何有效地将计算机图形学理论和技术应用于空间数据可视化，同时也探讨怎样从地图学的观点和方法来促进计算机图形学的发展。虚拟现实（virtual reality，VR）技术也称虚拟环境或人工现实，是一种由计算机生成的高级人机交互系统，即构成以视觉感受为主，也包括听觉、触觉、嗅觉的可感知环境，通过头盔式三维立体显示器、数据手套及立体声耳机等，能使人完全沉浸在计算机创造的图形世界里，演练者通过这些专门设备可在这个环境中进行观察、触摸、操作、检测等试验，有身临其境之感。

空间信息可视化与虚拟现实技术作为地图学的新的生长点，对于拓宽学科领域和促进地图学理论与技术的进步必将产生深远的影响；同时，空间信息可视化与虚拟现实技术要想在地理环境领域获得成功应用，甚至在技术上有所发展，也离不开地图学基本原理和方法的支撑。

通过回顾地图学发展的历史，我们可以清楚地看出，地图学既是一门古老的科学，又是一门新兴的科学。地图学发展的全部历史表明，它是一门永远充满生机与活力的科学，自古以来就与社会生活息息相关，它的发展有着深厚的社会根基和肥沃土壤。由古代地图学的萌芽和发展，到近代地图测绘与传统地图学的形成，进而到地图学的现代革命与信息时代的地图学，这是一个漫长的历史进程。今天，地图学已经进入信息社会，属于空间信息科学的范畴。

二、地图学发展的因素和发展趋势

经过长期的发展，特别是20世纪中叶以来，地图学无论在理论或技术方面都取得了长足的进步和跨越式发展。但是，随着空间技术、通信网络技术、空间

数据处理技术等的迅速发展，地图学也面临着许多挑战，同时也带来了实现进一步发展的机遇。在实现地图学跨越式发展的基础上，分析地图学面临的挑战，探索地图学的发展趋势，无疑会促进信息时代地图学的进一步发展。

（一）地图学发展的因素

1. 时代特征呼唤地图学的发展

21 世纪是知识经济时代，这个时代最根本的特征是知识创新和创新人才培养。尽管我国的地图学已经取得了长足的进步和跨越式发展，但是，客观地说，目前我们还是跟踪、吸收（包括吸收国外和吸收相关学科先进的部分）多，自主创新少。这里有一个问题需要思考：对于信息时代的地图学，是跟踪、吸收还是自主、创新。如果说，过去 50 多年中我们采取跟踪、吸收的方法，实现了地图学的长足进步和追赶发达国家的先进水平，那么要想在 21 世纪实现我国地图学的整体水平的提升，就必须致力于创新，特别是原始创新。如果不是这样，我们就不可能构建地图学的整体理论框架与体系，就不可能实现地图学的进一步发展。所以，我们必须大幅度地提高我国地图学的创新能力。创新，是地图学整体进化的发动机。

2. 数学科学的发展促进地图学的科学化

数学科学是研究数、量的关系和空间形式的科学体系，是自然科学、技术科学、社会科学、经济和管理科学的巨大的智能资源，“高技术”本质上是数学技术（叶其孝，1998）。地图科学具有自然科学、技术科学、社会科学、经济与管理科学交叉融合的特征，数学科学当然也是地图学的巨大的智能资源。过去，我们利用数学方法研究地球椭球面到地图平面的转换及这一过程中产生的变形，形成了“地图投影”；数学与制图数据处理相结合，建立了“地图制图数据处理的模型方法”；采用现代数学方法研究自动制图综合，形成了“数字地图自动制图综合”；等等。现在，我们怎样利用数学方法解决复杂空间分析的数学建模和空间决策支持建模并归结为数学问题的求解？怎样利用数学方法进行形式化描述和解决空间数据挖掘问题？怎样利用数学方法以求得自动制图综合整体解决？怎样利用数学方法研究空间数据的不确定性问题？等等。可以这样说，地图学的许多深层次问题，都需要具有很高数学素养的科学家和工程师才能解决。

3. 信息科学技术的发展推动地图学的发展

信息科学技术是当今社会活动的基础，信息的获取、传输、存储、处理和应用的技术手段已成为人类活动的重要方式。电子计算机和通信网络技术作为信息科学的两大技术支柱，发展十分迅速。速度更快、集成度更高、存储容量更大、体积更小、多功能的计算机是 21 世纪的发展目标。通信网络技术的迅速发展将改变人们的工作方式、生活方式和人际交流方式，传统的互联网实现了计算机硬

件的沟通，万维网 Web 实现了网页的沟通，而当前成为社会关注热点的网格（Grid）则是利用高速互联网把分布在不同地理位置上的计算机、数据库、存储器和软件等资源连成整体，形成充分共享的资源集成，其核心思想是“整个英特网就是一台计算机”。在这样的形势面前，我们怎样在“网格”环境下通过空间数据挖掘解决由空间数据转换为空间信息并进一步转换为空间知识？怎样实现异构、异地地理空间信息的共享？怎样将地理空间信息与“网格”相结合，探索实时动态变化的地理空间信息在网络计算机中的新的表示方法？等等。地图学必须面对信息科学发展提出的这些挑战。

4. 地理信息获取手段的变化将为地图学的发展提供多样化的信息源

地图学的信息源一直是我们要解决的第一个难题。在地图学发展的漫长历史中，曾经以探险考察、实地测绘、航空摄影作为获取地面信息的手段，在不同历史阶段都推动了地图学的发展。尽管在上个世纪 60 年代遥感技术就已经成为空间对地信息获取的主要技术手段，但时至今日，地理信息系统的空间数据主要还是来自于地图数字化。一方面，是海量卫星影像信息“堆积如山”；另一方面，GIS 的空间数据还主要是来源于已出版地图。其结果是影响 GIS 的时效性。造成这种状况的主要原因：一是影像识别技术滞后，有用的海量卫星影像数据，还没有转换成可用的信息；二是目前尚不能自动从影像数据中提取矢量数据，影像数据和矢量数据之间缺乏互动的能力（李德仁，2004）；三是由于卫星影像数据管理体制上的原因，GIS 本身对矢量数据与影像数据的融合使用还很不够。因此，地图学应该面对卫星遥感已成为当今空间信息获取的主要手段这样一个事实，抓紧研究与解决这些问题。

5. 国民经济与国防信息化建设对地图学提出了更高的要求

实现国民经济与国防信息化是各个国家的目标和任务。中国政府明确提出，在以往取得的伟大成就的基础上，再用大约半个世纪的时间，整体上达到世界中等发达国家的水平，基本实现现代化。数字社会建设是实现现代化的基础。数字社会是一个广义的概念，是信息社会的具体化，包括数字地球、数字中国、数字省（自治区、直辖市）、数字城市、数字江河、数字海洋、数字交通、数字农业等。其中，最具有代表性、典型性的是数字城市，一般指在城市自然、社会、经济复合巨系统中，能够有效获取、分类存储、自动处理和智能识别海量数据的、具有高分辨率和高度智能化的、既能虚拟现实又可直接参与管理和服务的城市综合工程。国民经济与国防信息化对地图学提出了许多新的要求，地图品种及其表现形式、地图制作与更新的全数字化与自动化、地理信息系统及空间信息可视化与虚拟地理环境系统等，都必须面向国民经济与国防信息化建设。地图学只有在为国民经济与国防信息化建设不断提供高水平的服务中，才能得到理论和技术上的新提升。

(二) 地图学的发展趋势

地图学发展的现状、科技进步与社会需求是分析地图学发展趋势的重要依据。目前，地图学的理论创新正在深化和扩展；地图制图技术实现了历史性的跨越式发展，地图制图与出版的数字化与一体化已成为地图生产的基本技术和手段；国家基础地理信息数据库基本建成，空间数据的多尺度表达与自动制图综合研究有了突破性进展；地理信息系统技术正在向实用化方向推进，空间信息可视化与虚拟现实技术取得了实用性成果。在这样的基础上，随着科学技术进步的加快和社会需求的增强，地图学今后将向以下几个方面发展：

1. 创新的地图学理论体系将逐步建成

理论是技术的先导，没有先进理论指导的技术是盲目的技术。随着地图制图技术的迅速发展，对地图学理论研究的要求将越来越高。20 世纪 80 年代以来，地图制图技术的跨越式发展，从根本上说，首先是得益于 20 世纪 50～60 年代信息论、系统论和控制论三大理论及电子计算机的诞生及其同地图学的结合，为地图学的发展开拓了新的思路。所以，我们要想实现 21 世纪地图学的进一步发展，也必须抓紧地图学理论体系的创新研究，实现地图学的“老三论”即地图投影、制图综合和地图符号等理论在新的条件下的深化和提升，以及信息科学技术背景下的地图空间认知、地图信息传输、地图视觉感受、地图模型、地学信息图谱、空间信息语言学等新理论在地图学理论体系中的地位和作用、相互联系、内容的深层次研究，逐步形成地图学的科学理论体系。

2. 创新的地图学技术体系将进一步提升

技术是理论的支持，没有先进技术支持的理论是落后的理论。在过去的 20 多年里，地图制图技术已经实现了由手工制图到计算机制图的跨越式发展，作为地图学功能的扩展和延伸的地理信息系统已达到实用化程度，空间信息可视化与虚拟现实技术作为地图学的一个新的生长点已取得明显进展，在这个基础上进行创新性研究，并建立起新的地图学技术体系是必然的趋势。创新的地图学技术体系应包括以地图数据库、地图色彩库和地图符号库作支撑条件的全数字地图制图与地图电子出版一体化系统，以电子地图信息系统和电子地图集信息系统为主的地图信息系统，以“网格”技术为支撑和以自主创新、三维和实时动态、实用化及产业化为目标的地理信息系统，以空间数据仓库和数据挖掘为支撑的空间决策支持系统，以模型库、数据库和纹理库为基础的地理环境仿真与虚拟现实系统，等等。

3. 创新的地图学应用服务体系将进一步充实和完善

地图与地理信息服务，始终是地图学赖以生存的基础，特别是在信息化时代，社会发展与人类生活都对地图与地理信息服务提出了更新、更高的要求。

很长时间内，地图学是主要以地图的形式提供服务的，而且具有“封闭体系”的传统地图学是“以地图制作为主，忽视地图应用的研究”，地图服务处于一种“被动”服务的状况。随着电子计算机技术、多媒体技术和网络技术的发展，地图与地理信息服务已成为决策支持的重要基础，已经并将继续出现一些新的变化，服务的形式更加多样化，服务的技术手段更加现代化，服务的质量更加高效化。创新的地图与地理信息应用服务体系，应包括地图应用服务体系和地理信息应用服务体系。地图应用服务体系应包括常规地图应用服务、数字地图的分布式存储与网上分发、电子地图服务、电子地图集服务等，地图品种将更加多样化；地理信息应用服务体系，包括地理信息部门服务、移动位置服务、基于分布式计算模型的 GISweb 服务、基于网格服务（Web services）的 WebGIS 服务，基于网格服务（Web services）的 GridGIS 服务，等等，地理信息服务将更加实时、快速和高效。

4. *地图学在数字社会建设中将发挥越来越重要的作用*

数字社会是一个广义的概念，其核心是数字地球、数字国家、数字区域、数字城市、数字江河、数字海洋、数字农业等，特别是其中的数字城市。地图学在数字社会建设中将发挥越来越重要的作用，这主要表现在：地图学为数字社会基础数据库建设提供理论和技术支撑，例如地理空间数据库以及以此作为空间定位基础的人口、土地、经济、社区、环境、文化、教育、医疗卫生、交通、灾害、安全等管理数据；为应用服务支持平台提供地理信息系统软件；为建立电子政务、电子商务与现代物流、数字企业、数字社区等各种应用系统提供数字地图数据和技术保障。数字社会建设是一个长期的战略目标，地图学包括其创新的理论、技术和服务体系在数字社会建设中也将长期发挥作用。一方面，在数字社会建设的方方面面，“3S”（GIS、RS、GPS）技术都是最基本的技术保障，有大量的研究与开发任务；另一方面，通过数字社会建设，也能推动地图学理论与技术的发展；同时，还能促进地理空间信息产业的形成和发展。

第二篇　地图数学基础

第三章　地图投影的基本原理

第一节　地图投影基本概念

一、地图投影的概念和实质

经过长期的观察与测量，人们认识到地球的形状是一个近似球体，更确切地说是一个近似以椭圆短轴为旋转轴旋转而成的椭球体。这种形体只有现在所做的地球仪大致可以保持与之相似。我们了解地球上的各种信息并加以分析研究，最理想的方法是将巨大的地球缩小，制成地球仪，直接进行观察研究。这样，其上各点的几何关系——距离、方位、各种特性曲线以及面积等可以保持不变。然而，一个直径 30cm 的地球仪，相当于地球的五千万分之一，即使直径 1m 的地球仪，也只相当于地球的一千三百万分之一。在这样一个小的球面上是无法表示巨大地球上的复杂事物的。并且，地球仪难于制作，成本高，也不便于量测使用和携带保管。

如果要详细研究地球表面的情况则必须依靠地图。地图比例尺可大可小，表示的内容可详可略，表示的区域可大可小。它可以详细表达地球表面上的各种自然及社会经济要素和现象，地图的制作、拼接、图上作业，以及携带保管都很方便。

由于地球（或地球仪）表面是不可展的曲面，而地图是连续的平面。因此，用地图表示地球表面的一部分或全部，就产生了一种不可克服的矛盾——球面与平面的矛盾，如强行将地球表面展成平面，那就如同将橘子皮剥下铺成平面一样，不可避免地要产生不规则的裂口和褶皱，而且其分布又毫无规律可循。为了解决将不可展球面上的图形变换到一个连续的地图平面上，就诞生了“地图投影”这一学科。

用地图投影的方法来解决球面与平面矛盾，最初是用几何透视方法，这种方法是建立在透视学原理基础之上的。通过测量的方法获得地形图，这一过程，可以理解为将测图地区按一定比例缩小成一个地形模型，然后将其上的一些特征点

（测量控制点、地形点、地物点）用垂直投影的方法投影到图纸（平面）上（图 3.1）。

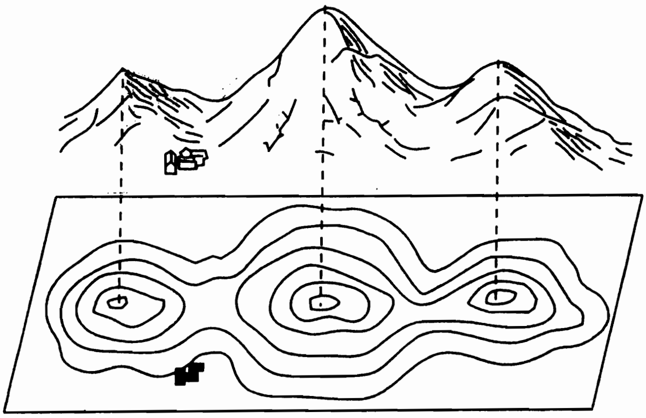


图 3.1　垂直投影的概念

对于较小区域范围，可以视地表为平面，这样就可以认为投影没有变形；但对于较大区域范围，甚至是半球、全球，这种投影就不适合了。这时，可以假设地球按比例尺缩小成一个透明的地球仪那样的球体，在其中心安放一个点光源，接通电源把地球表面上经纬线连同控制点及地形、地物图形，投影到与地球表面构成切或割的平面（圆柱面、圆锥面）上（图 3.2）。

几何透视法只能解决一些简单的由球面到平面的变换问题，具有很大的局限性，例如，往往不能将全球投影下来。随着数学分析这一数学分支学科的出现，人们就普遍采用数学分析方法来解决地图投影问题。

数学分析法是建立在地球椭球面上的经纬线网与平面上相应的经纬线网相对应的基础之上的（图 3.3）。地球椭球面称为原面，平面称为投影面。原面与投影面上的点、线、面具有一一对应关系，即

$$\left.\begin{aligned} x &= f_1(B,L) \\ y &= f_2(B,L) \end{aligned}\right\} \tag{3-1}$$

该式就是地图投影的一般方程。当给定不同的具体条件时，就可以得到不同种类的投影公式。

到目前为止，有近 260 种地图投影类型，归纳起来，不外乎是几何透视法或数学分析法两大类。

实际上，目前很少有投影是采用几何学原理的所谓“投影”，绝大多数都是用数学方法来解决地球表面到平面的变换问题的，所以，地图投影学又称数学制图学。“地图投影”这一名词，严格从字面理解，它只包含几何透视法，但这一名词沿用已久，并不妨碍它的发展，随着学科的发展，又赋予了新的更广泛

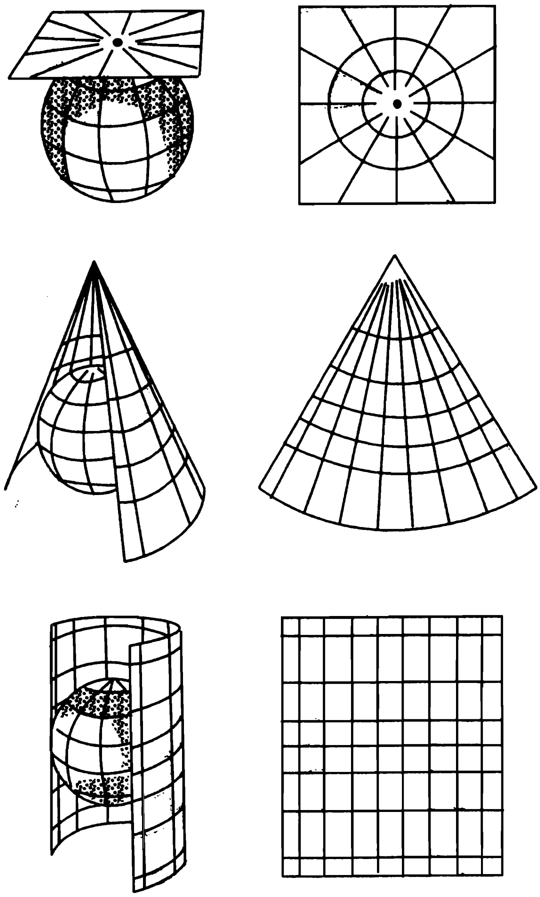


图 3.2　透视投影示意图

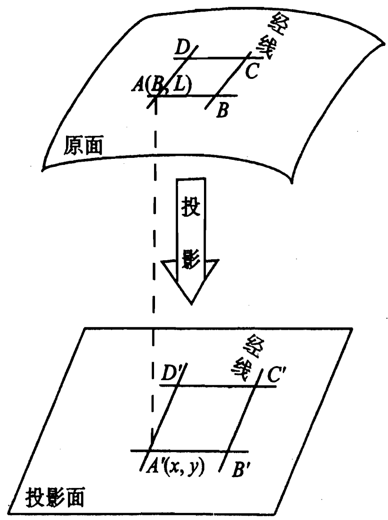


图 3.3　投影关系

的内涵。

不论是几何透视法，还是数学分析法，这些将地球表面上的点、经纬线等变换到地图平面上的方法称为地图投影。它的实质是建立地球面上点的坐标（B，L）与地图平面上点的坐标（x，y）之间一一对应的函数关系。

二、地图投影的研究对象及任务

采用地图投影这一方法，虽然解决了球面与平面之间的矛盾，但在平面上完全无误地表示地球的各个部分是不可能的，即是说它们之间必有差异，存在变形。总体来讲，共有三种变形：一是长度变形，即投影后的长度与原面上对应的长度不相同了；二是面积变形，即投影后的面积与原面上对应的面积不相等了；三是角度变形，即投影前后任意两个对应方向的夹角不相等了。

这三种变形，对某一投影来说可能同时存在，而且在不同点位，其大小不同。但我们可以通过一定的方法使某种投影变形不存在，另一些变形减小或分布均匀一些。哪一种地图投影都不是万能的，均有其优缺点，也都有一定的局限性，我们应根据某种地图的用途要求来选择需要的地图投影。

因此，地图投影主要是研究将地球椭球面（或球面）描写到地图平面上的理论、方法及应用，以及地图投影的变形规律。此外，还研究不同地图投影之间的转换和图上量算等问题。

从常规制图实践来说，实现地球表面到地图平面的转换，并不需要将所有点按（3-1）式逐点变换，而只需要将地球表面上的一些主要点，如大地控制点、图廓点、经纬线交点等变换到平面上，并连接经纬线交点得到经纬线，形成制图网，构成地图骨架，使地图具有严格的数学基础。在数字地图环境下，则按（3-1）式逐点实现数学基础和地图内容要素的转换。因此，地图投影的任务是建立地图的数学基础，它包括把地球表面上的地理坐标系转化成平面坐标系，建立制图网——经纬线在平面上的表象。

地图测制的最初过程，概略地分为两步：一是选择一个非常近似于地球自然形状的规则几何体来代替它，然后将地球表面上的点位按一定法则转换到此规则几何体上；二是再将此规则几何体表面（不可展曲面）按一定数学法则转换为地图平面（图 3.4）。前者是大地测量学的任务，后者是地图投影学的任务。

当前，随着科学技术的发展，以数字技术为标志的现代地图学时代已经到来。数字地图的出现，使地图的制图技术、出版技术以及应用技术都发生了革命性的变化。

作为数学基础的地图投影，在地图数字化生产、地理信息系统（GIS）、国家空间数据基础设施建设以及数字化战场建设的军事测绘保障等领域，具有极其重要的意义。

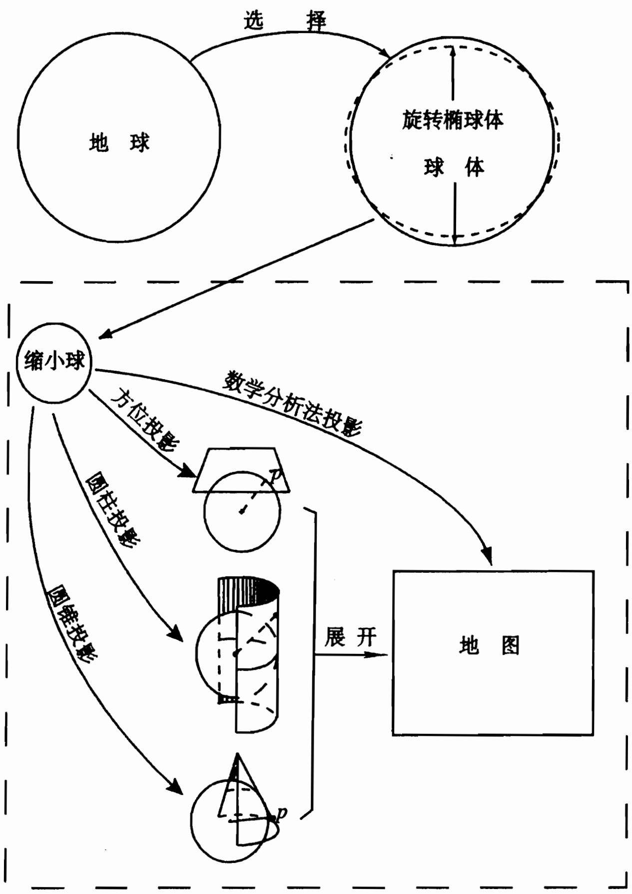


图 3.4　地图投影的概略过程

地图投影是地图的数学基础，起着基础和骨架作用，正是地图投影才使得地图具有严密的科学性和精确的可量测性，这也是地图有别于照片、风景画等的重要特征。从广义上讲，地图投影系统是实现空间信息定位的基础，是地球空间数据的基础框架，是空间信息可视化的基础。

20 世纪 60 年代迄今，GIS 的原理、技术和应用有了飞速发展。GIS 中的空间数据来源非常广泛，GIS 数据的空间基准已成为 GIS 核心问题之一。GIS 的空间基准涉及参考椭球、坐标系统、地图投影、分带等多种因素，直接影响到空间数据的几何精度，贯穿于 GIS 的数据获取、数据库建立、查询分析及结果输出等各个环节。因此，地图投影是 GIS 空间基准的关键所在。

1994 年 4 月，自美国多所著名大学共同提出建立国家空间数据基础设施（NSDI）以来，以 Internet 为核心的数字地球建设在各个国家迅速展开。空间数据的标准化是空间数据基础设施的核心和关键，而空间数据的标准化由元数据的标准化来体现，地图投影的标准化又是元数据标准化的重要内容，地图投影在国

家空间数据基础设施中具有极其重要的作用。同时，地图投影又是空间数据处理的基础工具，空间数据基础设施中的所有数据都应处于一定的坐标系统（地理“框架”）中，所有空间信息的分析、处理都应基于这一“框架”。因此，地图投影是地球空间数据的基础框架。

地图投影作为地图学的基础理论，在几代制图学家的共同努力下，伴随着地图学的发展，已获得了长足的进步。特别是近十多年来，随着航天遥感技术、计算机技术、地球信息科学、GIS理论与技术的发展，地图投影理论研究的深度、应用的广度也得到了前所未有的发展，在新地图投影探求、地图投影变换、位置线理论及应用、空间动态地图投影建立等方面取得了一系列重要研究成果，我国地图投影学科的发展已居于国际领先水平。

地图学与地理信息工程学科专业的发展，推动着地图投影学的理论、方法、研究内容的不断拓展和深化，传统意义上的静态、二维、矢量的地图投影理论、方法已难以描述其自身的发展，这也是学科发展的必然趋势。在本篇中叙述的仅是传统意义上的地图投影。

第二节　地图投影基本理论

一、地图投影的一般方程

如前所述，(3-1) 式即为地图投影的一般方程，式中的 x、y 表示原点在投影平面上的纵、横坐标，B、L 表示原点在地球椭球面上的纬度、经度地理坐标。这一方程体现了地球椭球面上的任意点与地图平面上相应点的一一对应的函数关系。函数 f_1 与 f_2 取决于不同的投影条件，在制图区域内函数必须是单值、连续、有界。

在 (3-1) 式中，若 $L=L_0$，则方程为

$$\left.\begin{aligned} x &= f_1(B,L_0) \\ y &= f_2(B,L_0) \end{aligned}\right\} \tag{3-2}$$

这就是经度为 L_0 的经线投影方程。

若 $B=B_0$，则方程 (3-1) 为

$$\left.\begin{aligned} x &= f_1(B_0,L) \\ y &= f_2(B_0,L) \end{aligned}\right\} \tag{3-3}$$

这就是纬度为 B_0 的纬线投影方程。

从 (3-1) 式中消去纬度 B，得

$$F_1(x,y,L) = 0 \tag{3-4}$$

这就是经线族投影方程。当 L 为不同值时，得到不同的经线方程。

从（3-1）式中消去经度 L，得

$$F_2(x,y,B)=0 \tag{3-5}$$

这就是纬线族投影方程。当 B 为不同值时，得到不同的纬线方程。

以上的讨论同样适合当视地球为球体时，用 φ，λ 表示经纬度的地图投影。

二、地图投影变形

地球椭球面或球面与平面之间的矛盾，通过地图投影的方法得以解决。然而，不论采用何种地图投影方法，都不可避免地产生变形。如图 3.5 所示，黑色表示的三个网格是在地球表面上相同间隔的经差和纬差所构成的，在地球表面上应具有相同的形状和大小，但在投影平面上，却产生了明显差异，这就是投影变形所致。

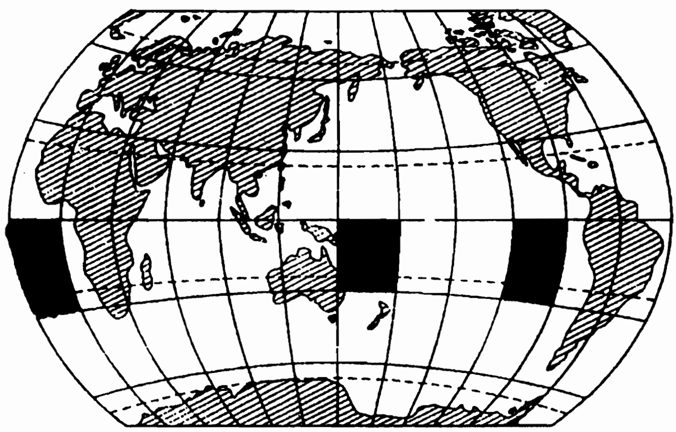


图 3.5　地图投影变形

已于前述，地图投影变形有三种：长度变形、面积变形和角度变形。

（一）长度比与长度变形

如图 3.6 所示，$ABCD$ 是原面上一微分图形，$A'B'C'D'$ 是投影面上的对应图形。投影面上某一方向上无穷小线段 ds' 与原面上对应的无穷小线段 ds 之比叫长度比，用 μ 表示，则

$$\mu=\frac{ds'}{ds} \tag{3-6}$$

长度比与 1 之差叫长度相对变形，简称长度变形，用 v_μ 表示，则

$$v_\mu=\mu-1=\frac{ds'-ds}{ds} \tag{3-7}$$

当 $v_\mu>0$ 时，表明投影后长度变长了；$v_\mu<0$ 时，表明投影后长度缩短了；$v_\mu=0$ 时，表明无长度变形。

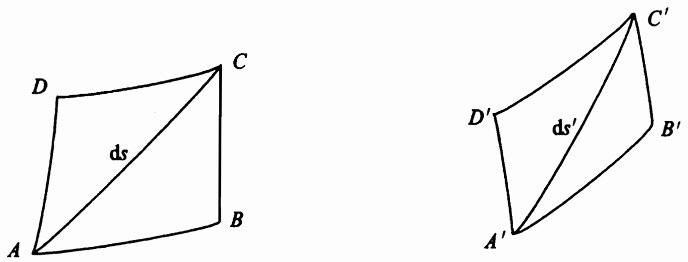


图 3.6　原面与平面微分图形对应关系

长度比是一个变量，不仅随点位不同而变化，而且在同一点上随方向变化而变化。任何一种投影都存在长度变形，没有长度变形就意味着地球表面可以无变形地描写在投影平面上，这是不可能的。

（二）面积比与面积变形

如图 3.6 所示，$ABCD$ 和 $A'B'C'D'$ 两微分图形的面积分别为 dF、dF′。投影面上某区域无穷小面积和相应原面上无穷小面积之比叫面积比，用 p 表示，则

$$p=\frac{\mathrm{d}F'}{\mathrm{d}F} \tag{3-8}$$

面积比与 1 之差叫面积相对变形，简称面积变形，用 v_p 表示，则

$$v_p=p-1=\frac{\mathrm{d}F'-\mathrm{d}F}{\mathrm{d}F} \tag{3-9}$$

当 $v_p>0$ 时，表示投影后面积增大；$v_p<0$ 时，表示投影后面积缩小；$v_p=0$ 时，表示面积无变形。

面积比或面积变形也是一个变量，它随点位的变化而变化。

（三）角度变形

投影面上任意两方向线所夹之角（u'）与原面上对应之角（u）之差叫角度变形，用 Δu 表示，则

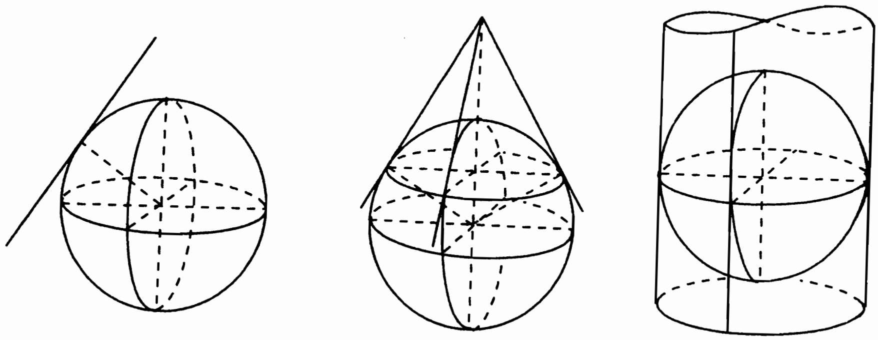
$$\Delta u=u'-u \tag{3-10}$$

角度变形有正有负，当 $\Delta u>0$ 时，投影后角度增大；$\Delta u<0$ 时，投影后角度减小；$\Delta u=0$ 时，投影前后角度相等，无角度变形。

角度变形也是一个变量，它随着点位和方向的变化而变化。在同一点的某特殊方向上，其角差具有最大值，称为该点上的角度最大变形。

地图投影不可避免地产生变形，这是不依人们的意志为转移的客观规律。我们研究投影变形的目的在于掌握各种地图投影变形大小及其分布规律，以便于正确控制投影变形。一般地说，地图投影变形越小越好，但对于某些特殊地图，要求地图投影满足特殊条件，这就不是说投影变形越小越好了。

地图投影可以保持个别点和线段投影在平面上不产生任何变形。如图 3.7 所示，在(a)中，投影平面切在地球某点，该点既在地球面上，也在投影平面上，这样的点投影后不产生任何变形。在(b)和(c)中，圆锥与地球某纬线圈相切，圆柱在赤道上与地球相切，这些相切的纬线投影后均无变形。在地图投影中不变形的纬线称之为标准纬线。



(a)　　(b)　　(c)

图 3.7　地图投影标准纬线

在计算地图投影或制作地图时，首先要将地球椭球面或球面按一定的比率缩小，然后再投影到平面上，这个小于 1 的常数比率称为地图的主比例尺，或称普通比例尺，通常将其标注在地图上。除地图上保持主比例尺的点或线以外，其他部分的比例尺称为局部比例尺。局部比例尺的变化比较复杂，取决于投影种类、投影性质，并且随着线段的方向和位置而变化。通常在大区域小比例尺地图上标注的较复杂的图解比例尺便是主比例尺和局部比例尺的复合。

当研究地图投影变形时，主比例尺不起任何作用。因为，无论用何种方式缩小地球，皆不能改变地图投影变形的数值。因此，在地图投影的研究中，总是将地图主比例尺当作 1，讨论地图投影主要是讨论局部比例尺，也就是前面所述的长度比和面积比。

三、主方向和变形椭圆

在地球椭球面或球面上，过一点的一组互相正交的方向，投影在平面上由于

投影变形，一般不能保持正交，但总有一组正交方向投影后仍然正交，我们称此二方向为主方向。

在地球椭球面或球面上一点 A 的无穷小区域内，可以视为一个小平面。如图 3.8 所示，以过 A 点之经线 AD 和纬线 AB 二方向为直角坐标轴 ξ 和 η，有一 C 点，其坐标 $\xi=AD$，$\eta=AB$。在投影面上过 A' 点经线投影为 ξ' 方向，纬线投影为 η' 方向。由于投影变形，经纬线投影后不是直角相交而为 θ 角。C' 点在斜坐标系中的坐标为 $\xi'=A'D'$，$\eta'=A'B'$。

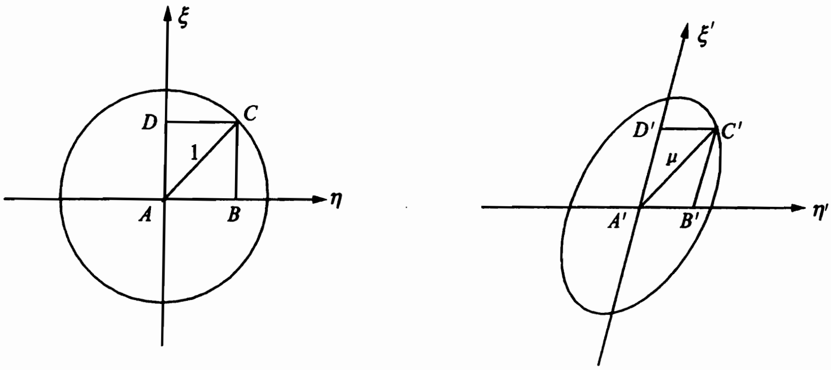


图 3.8　共轭方向变形椭圆

设沿经线方向的长度比为 m，沿纬线方向的长度比为 n，则

$$m=\frac{A'D'}{AD}=\frac{\xi'}{\xi}$$

$$n=\frac{A'B'}{AB}=\frac{\eta'}{\eta}$$

或

$$\left.\begin{aligned}\xi&=\frac{\xi'}{m}\\ \eta&=\frac{\eta'}{n}\end{aligned}\right\}\tag{3-11}$$

设地球椭球面或球面上一点 A 的无穷小区域为微分单位圆，其方程为

$$\xi^2+\eta^2=1\tag{3-12}$$

将（3-11）式代入（3-12）式中，则得到微分单位圆在平面上的投影方程为

$$\frac{\xi'^2}{m^2}+\frac{\eta'^2}{n^2}=1\tag{3-13}$$

（3-13）式表明，原面上的微分圆投影到平面上，是以相交成 θ 角的两个共

轭直径为斜坐标轴的椭圆。

由此得出结论：地球表面上一无穷小的圆投影在平面上一般被描写为一无穷小椭圆。这个椭圆是由于投影变形所引起的，故称此椭圆为变形椭圆（ellipse of distortion）。变形椭圆的理论是法国数学家蒂索（Tissot）提出的，所以变形椭圆又称蒂索曲线或蒂索指线（Tissot's indicatrix）。

地球表面上两相互垂直的经纬线方向投影在平面上为变形椭圆的一组共轭直径。不仅经纬线方向是如此，其他任何正交线投影后均为变形椭圆的共轭直径。在这无穷多组共轭直径中一定有一组共轭直径为特殊的共轭直径，是变形椭圆的长半径和短半径。因此，地球表面上的主方向投影后为变形椭圆的长短半径方向，且保持最大最小长度比。

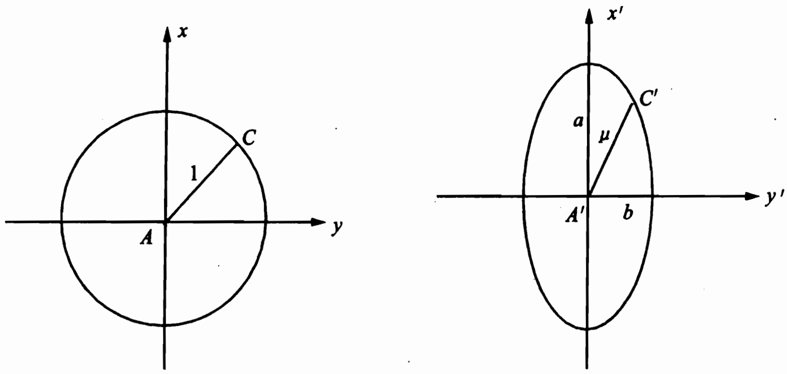


图 3.9　主方向变形椭圆

在图 3.9 中，原面上主方向为 x、y 轴，投影后在平面上为 x'、y'，以 a 表示椭圆长半径，以 b 表示椭圆短半径，则以主方向为轴的变形椭圆方程为

$$\frac{x'^2}{a^2}+\frac{y'^2}{b^2}=1 \tag{3-14}$$

由此看来，主方向有两个性质：一是地球表面上的正交线投影后仍然正交；二是投影后具有最大长度比 a、最小长度比 b。

变形椭圆的长短半径 a、b 和共轭半径 m、n 及其夹角 θ 的关系，根据解析几何中阿波罗尼奥斯（Apollonius）定理有

$$\begin{cases} a^2+b^2=m^2+n^2 \\ ab=mn\sin\theta \end{cases} \tag{3-15}$$

变换（3-15）式，得

$$\left.\begin{aligned} a+b&=\sqrt{m^2+n^2+2mn\sin\theta} \\ a-b&=\sqrt{m^2+n^2-2mn\sin\theta} \end{aligned}\right\} \tag{3-16}$$

（3-16）式便是由经纬线长度比 m、n 和经纬线夹角 θ 计算极值长度比 a、b 的实用公式。

变形椭圆是表示地图投影变形的重要方法之一。一个变形椭圆可以用来表示某一点上的各种变形，变形椭圆各方向上的半径长表示长度比。有的方向半径大于单位长度，则表示投影后长度增加，短于单位长度的表示投影后长度缩短了，等于单位长度的表示投影后长度不发生变形。

若变形椭圆的面积等于单位圆面积，则该点上无面积变形，大于单位圆面积表明投影后面积被放大，小于单位圆面积表明投影后面积被缩小。

变形椭圆的扁平程度反映了角度变形大小。变形椭圆长半径与短半径的比值越大，角度变形越大；其比值越接近于 1，角度变形越小；长短半径相等，表明投影后角度无变形。

变形椭圆能生动、形象地显示投影变形。一个变形椭圆能同时显示某点的各种变形，一组变形椭圆能揭示全制图区域变形变化规律。但变形椭圆对变形的微小变化的显现较难区分，且绘制也比较困难（图 3.10）。

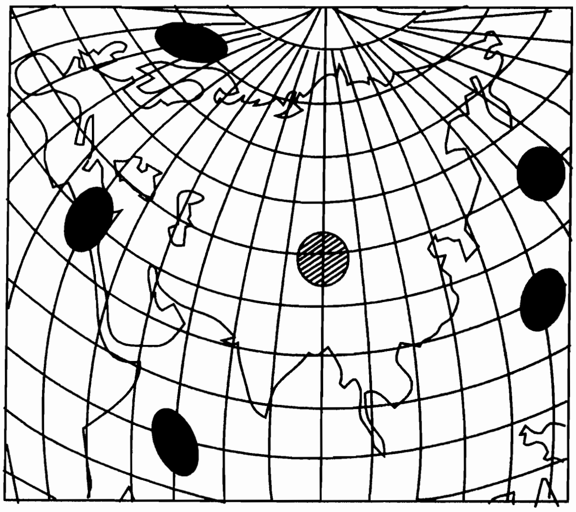


图 3.10　变形椭圆变化规律

四、地图投影变形计算

（一）长度比公式

在图 3.11 中，原面上微分线段为 ds，相应在投影面上微分线段为 ds'，则

$$ds'^2 = dx^2 + dy^2 \tag{3-17}$$

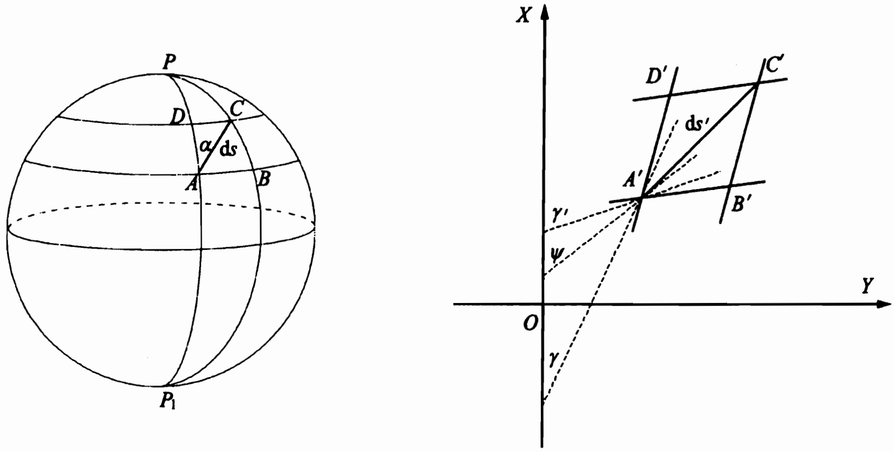


图 3.11　原面与投影面上微分图形对应关系

令 x_B、x_l、y_B、y_l 为（3-1）式方程决定的偏导数 $\frac{\partial x}{\partial B}$，$\frac{\partial x}{\partial l}$，$\frac{\partial y}{\partial B}$，$\frac{\partial y}{\partial l}$ 的缩写，并引入以下符号

$$\left.\begin{aligned} E &= x_B^2 + y_B^2 \\ F &= x_B x_l + y_B y_l \\ G &= x_l^2 + y_l^2 \\ H &= x_B y_l - y_B x_l \end{aligned}\right\}$$

根据（3-6）式，得到方位角为 α 方向上长度比计算公式为

$$\mu^2 = \frac{E}{M^2}\cos^2\alpha + \frac{F}{Mr}\sin 2\alpha + \frac{G}{r^2}\sin^2\alpha \tag{3-18}$$

当 $\alpha=0°$时，得到沿经线方向长度比 m 为

$$m = \frac{\sqrt{E}}{M} \tag{3-19}$$

当 $\alpha=90°$时，得到沿纬线方向长度比 n 为

$$n = \frac{\sqrt{G}}{r} \tag{3-20}$$

（二）面积比公式

在图 3.11 中，地球椭球面上无穷小球面梯形 $ABCD$ 的面积 $\mathrm{d}F$，在投影面上对应之无穷小 $A'B'C'D'$ 的面积 $\mathrm{d}F'$，则

$$\mathrm{d}F = AD \cdot AB = Mr\,\mathrm{d}B\,\mathrm{d}l \tag{3-21}$$

$$dF' = A'D' \cdot A'B' \cdot \sin\theta = mnMr\sin\theta dBdl \tag{3-22}$$

由（3-8）式，面积比 p 为

$$p = \frac{dF'}{dF} = mn\sin\theta \tag{3-23}$$

变换（3-23）式，则得到

$$p = \frac{H}{Mr} \tag{3-24}$$

或

$$p = ab \tag{3-25}$$

（三）角度变形公式

在图 3.11 中，投影面上 ds' 与 X 轴正向构成角 ψ，经线和纬线的切线与 X 轴正方向的交角 γ 和 γ'，则

$$\tan\psi = \frac{dy}{dx} = \frac{y_B dB + y_l dl}{x_B dB + x_l dl} \tag{3-26}$$

$$\tan\gamma = \frac{y_B}{x_B} \tag{3-27}$$

$$\tan\gamma' = \frac{y_l}{x_l} \tag{3-28}$$

投影经纬线夹角为 θ，且 $\theta=\gamma'-\gamma$。则经纬线夹角 θ 的计算公式为

$$\tan\theta = \tan(\gamma' - \gamma) = \frac{H}{F} \tag{3-29}$$

或

$$\sin\theta = \frac{H}{\sqrt{EG}}, \quad \cos\theta = \frac{F}{\sqrt{EG}} \tag{3-30}$$

投影面上线素 ds' 之方位角为 α'，$\alpha'=\psi-\gamma$，则

$$\tan\alpha' = \tan(\psi - \gamma) \tag{3-31}$$

于是，得到地球椭球面上方位角与投影面上方位角的关系式

$$\cot\alpha' = \frac{E}{H} \cdot \frac{r}{M}\cot\alpha + \frac{F}{H} \tag{3-32}$$

在研究角度变形时，通常是计算两个最大方向角变形线所夹之角，即最大角度变形 ω，以极值长度比 a、b 表示，则

$$\sin\frac{\omega}{2} = \frac{a - b}{a + b} \tag{3-33}$$

或

$$\cos\frac{\omega}{2}=\frac{2\sqrt{ab}}{a+b},\ \tan\frac{\omega}{2}=\frac{a-b}{2\sqrt{ab}} \tag{3-34}$$

或

$$\tan\left(45^{\circ}+\frac{\omega}{4}\right)=\sqrt{\frac{a}{b}} \tag{3-35}$$

或

$$\tan\left(45^{\circ}-\frac{\omega}{4}\right)=\sqrt{\frac{b}{a}} \tag{3-36}$$

五、地图投影条件

地图投影一般存在长度变形、面积变形和角度变形，一种投影可以同时存在以上三种变形。但在某种条件下，可以使某一种变形不发生，如投影后角度不变形，或投影后面积不变形，或使某一特定方向投影后不产生长度变形。

（一）等角投影条件

使地球面上任意点的任意二方向所夹之角投影后仍保持原夹角大小不变的投影叫等角投影（conformal projection)。为了保持等角，就必须使投影面上任意点的角度最大变形为零，即

$$\omega=0 \tag{3-37}$$

按（3-33）式，求得等角投影条件为

$$a=b \tag{3-38}$$

在等角投影中，变形椭圆是无穷小的圆，不过圆的大小一般来说与原来的无穷小圆不相等，在个别的特殊点或线上才相等。因而，等角投影的长度比不随方向变化，在同一点上各方向长度比为一定值。

在等角投影中，在无穷小区域内，原面和投影面上的图形对应角相等，对应边成比例，因此，两个面上对应微分图形相似。所以等角投影又叫相似投影，或正形投影。

（二）等面积投影条件

等面积投影在于使投影面上的面积与地球面上相应面积相等。面积不发生变形的投影叫等面积投影，其条件是面积比为 1，即

$$p=1 \tag{3-39}$$

按（3-24)、(3-25）式，求得等面积投影条件为

$$H = M \cdot r \tag{3-40}$$

或

$$ab = 1 \tag{3-41}$$

在等面积投影中，地球面上无穷小圆投影在平面上一般为面积相等的椭圆，在无变形的点上投影为面积相等的圆。

等面积投影不仅保持无穷小面积投影后相等，而且也能使总体面积投影后也相等。

（三）等距离投影条件

使某一组特定方向投影后不产生长度变形，这种投影叫做等距离投影。在经纬线正交的投影中，等距离投影只存在于方位投影、圆柱投影和圆锥投影之中。等距离投影规定经线长度比等于 1 为条件，即

$$m = 1 \tag{3-42}$$

或

$$\frac{\sqrt{E}}{M} = 1 \tag{3-43}$$

对于横轴投影和斜轴投影，等距离投影条件是使垂直圈投影后长度比为 1。

六、地图投影分类

地图投影是一门古老的科学，在长期的地图生产实践中，已经提出了几百种投影。把具有共同特征的或具有共同属性的投影集合在一起，进行分类，是一个很复杂的问题，迄今为止尚无定论。对地图投影进行科学分类，不仅可以帮助我们更好地掌握现有投影的性质、特征和应用，而且能揭示出各种地图投影间的内在联系，探求新的地图投影，从而促进地图投影理论和应用研究的进一步发展。

地图投影通常按变形性质和正轴投影经纬线形状来分类。

（一）按地图投影变形性质分类

按地图投影变形性质，可将地图投影分为以下三类。

1）等角投影。即满足等角条件的投影，这种投影没有角度变形，但长度变形和面积变形是无法避免的。在等角投影地图上，图上方位与实地方位保持一致，便于量测方向，所以，地形图、航空图、航海图等要求方位和形状不变的地图都用此类投影来构建数学基础，等角投影的面积变形大（图 3.12）。

2）等面积投影。即满足等面积条件的投影，这种投影能保持面积大小不变，但角度变形大，因而，投影后的轮廓形状有较大改变。需要保持正确的面积对比

关系的一些专题图，如政区图、经济图等，常用此类投影构建数学基础（图3.13）。

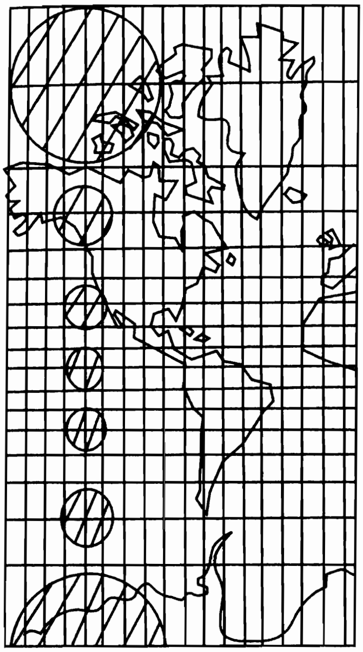


图 3.12　等角投影

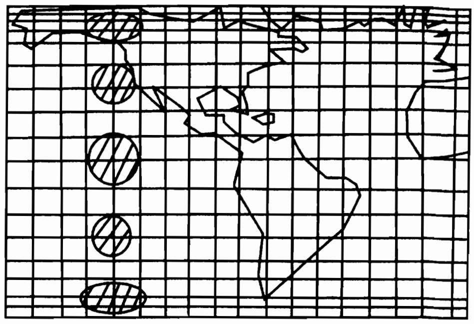


图 3.13　等面积投影

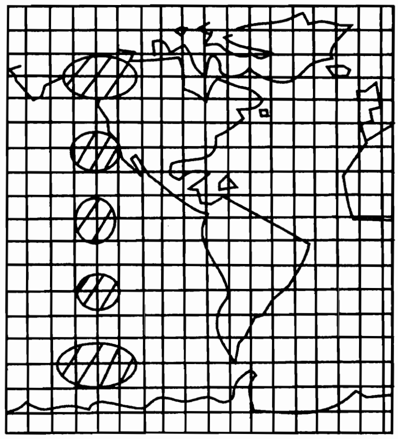


图 3.14　等距离投影

3）任意投影。既不是等角又不是等面积的投影叫任意投影，这种投影的三种变形同时存在，地球面上的微分圆投影后为大小不等、形状各异的变形椭圆。任意投影中有一种叫等距离投影，它满足等距离条件，这种投影的角度变形比等面积投影的小，面积变形比等角投影的小，即三种变形都有，但比较适中（图3.14）。

任意投影因条件可以任意给定，所以这类投影种类多、用途广，可用于各种区域地图。

（二）按正轴投影经纬线形状分类

1）方位投影。以平面作为投影面，平面与地球面构成相切或相割的位置关系，将经纬线投影到平面上。方位投影有正方位、横方位和斜方位几种不同位置的投影（图3.15）。

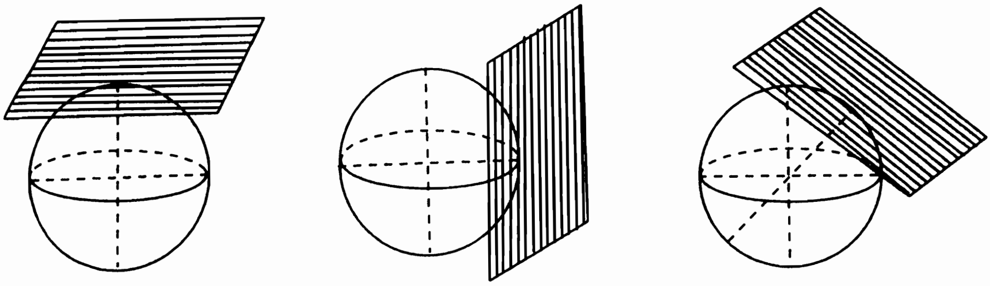


图 3.15　正方位、横方位和斜方位投影

在正方位投影中，纬线为同心圆，经线为交于纬线共同中心的一束直线，两经线间的夹角与相应经差相等（图 3.16）。

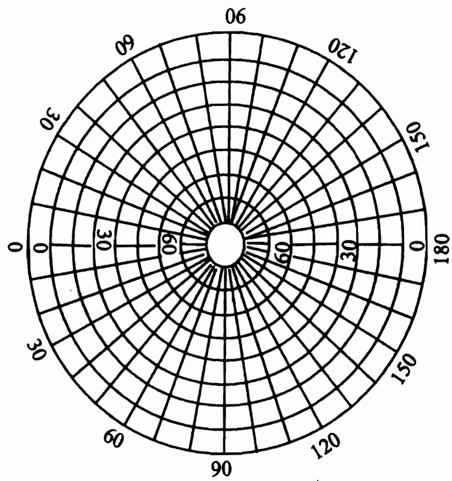


图 3.16　正方位投影经纬线形状

2）圆柱投影。圆柱投影以圆柱面作为投影面，将经纬线投影到圆柱面上，然后将圆柱面展成平面而成。圆柱面可与地球相切或相割，有正圆柱、横圆柱和斜圆柱三种不同的投影（图 3.17）。

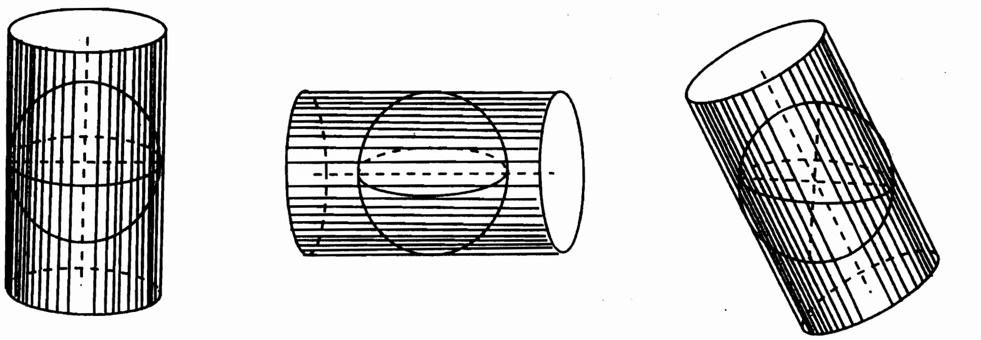


图 3.17　正圆柱、横圆柱和斜圆柱投影

在正圆柱投影中，纬线为一组平行直线，经线为垂直于纬线的另一组平行直线，两经线的间隔与相应经差成正比（图 3.18）。

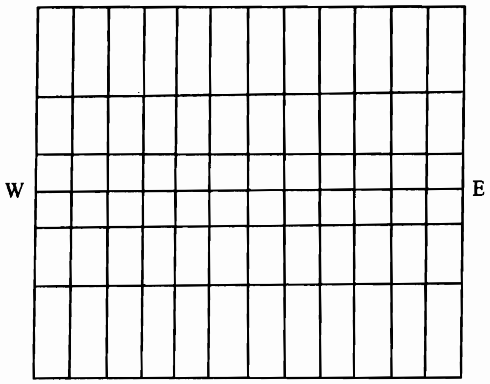


图 3.18 正圆柱投影经纬线形状

3）圆锥投影。圆锥投影以圆锥面作为投影面，将圆锥与地球相切或相割，将经纬线投影到圆锥面上，然后把圆锥面展开成平面而成。按圆锥面与地球面的位置关系有正圆锥、横圆锥和斜圆锥三种不同的投影（图 3.19）。

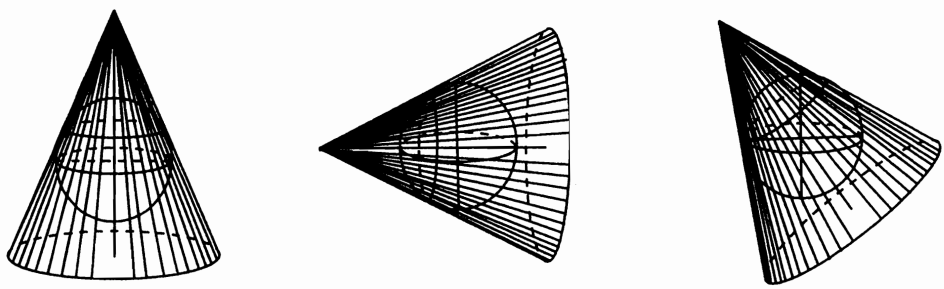


图 3.19 正圆锥、横圆锥和斜圆锥投影

在正圆锥投影中，纬线为同心圆弧，经线为同心圆弧的半径，两经线间的夹角与经差成正比（图 3.20）。

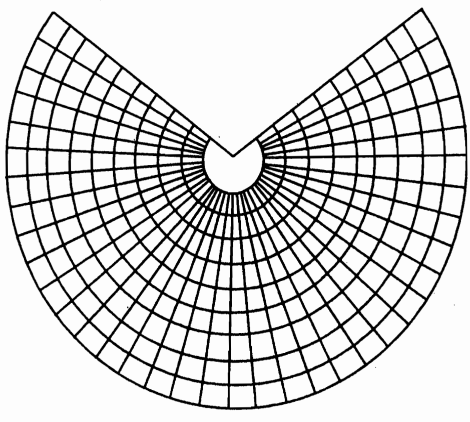


图 3.20 正圆锥投影经纬线形状

此外，还有伪方位、伪圆柱、伪圆锥和多圆锥等不同类型的投影。

对于一种地图投影，完整的命名应考虑以下方面：地图投影性质（等角、等面积、任意，等距离投影属于任意性质投影）；地球椭球体（球体）与投影面的相对位置（正轴、横轴、

斜轴)；地球椭球体（球体）与投影面的相互关系（相切、相割)；投影面的类型（方位、圆柱、圆锥)。例如，斜轴等面积方位投影、正轴等距离圆柱投影等。习惯上，也经常以该投影的发明者的名字来命名，例如，桑生（Sanson）投影、高斯-克吕格（Gauss-Krüger）投影。

第四章　常用的几类地图投影

第一节　方位投影及其应用

一、球面坐标

在地球面上确定点的位置除了用地理坐标外，还可以视地球为球体，用其他坐标系统确定点的位置，如球面坐标系。球面坐标系是以地球面上任一点为极点，用垂直圈和等高圈组成球面坐标网。垂直圈是通过极点的大圆圈，等高圈是垂直于垂直圈的一组圆，其中有一个最大的为大圆圈，其余都是小圆圈。垂直圈即相当于地理坐标系的经线圈，等高圈即相当于地理坐标系的纬线圈。

当地图投影为斜轴投影或横轴投影时，应用球面坐标系，类似地理坐标系求正轴投影公式，则可以简化求得斜轴或横轴投影公式。

如图 4.1，设 Q 点为球面坐标系的极，通过 Q 点的直径叫新轴，新轴的另一端点为 Q_1。通过新轴 QQ_1 的平面与地球相交所截大圆叫垂直圈，而垂直于新轴 QQ_1 的平面与地球相交截得到大小不等的圆叫等高圈。由垂直圈和等高圈两组正交的曲线构成球面坐标网。

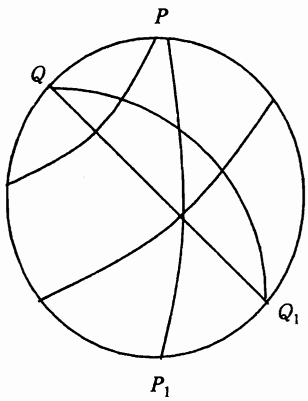


图 4.1　球面坐标网

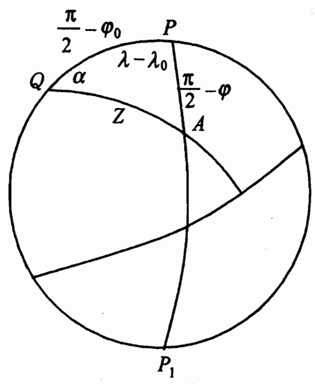


图 4.2　球面坐标系

如图 4.2 所示，Q 点为新极点，其地理坐标为（φ_0，λ_0）。地面上有一点 A，其地理坐标为（φ，λ），过 A 点作垂直圈 QA，大圆 QA 所对之中心角为 Z，QP、QA 弧之夹角为 α，由（Z、α）即可决定 A 点在球面坐标系中的位置。

QA 之长 Z 称之为极距，α 角是从新极点 Q 的子午线起算，顺时针方向为

正，逆时针方向为负，因此，α 角叫做方位角。

在同一条等高圈上其极距 Z 都相等，Z 值由 $0\sim\pi$。同一条垂直圈上其方位角 α 为常数，方位角 α 从过 Q 点之经线 QP 起算，顺时针由 $0\sim2\pi$。

球面坐标系的极点 Q（φ_0，λ_0）确定之后，根据球面三角形的边角关系，A 点之球面坐标（Z，α）与该点的地理坐标（φ，λ）的关系式为

$$\left.\begin{aligned}\cos Z &= \sin\varphi\sin\varphi_0 + \cos\varphi\cos\varphi_0\cos(\lambda-\lambda_0)\\ \tan\alpha &= \frac{\cos\varphi\sin(\lambda-\lambda_0)}{\sin\varphi\cos\varphi_0 - \cos\varphi\sin\varphi_0\cos(\lambda-\lambda_0)}\end{aligned}\right\}\qquad(4\text{-}1)$$

二、方位投影的概念及一般公式

方位投影的几何概念是假想用一平面切（割）地球，然后按一定的数学方法将地球面投影在平面上，即得到方位投影。

方位投影多用于制作小比例尺地图，因而通常视地球为以 R 为半径的球体。

根据投影面与地球面的相关位置，方位投影有正轴、横轴、斜轴三种情况，进一步还可分为切、割方位投影。如投影面与地球面在某点相切，称为切投影，切点称为投影中心。如果投影面与地球面的交线为一小圆，则称为割方位投影，此时小圆的极点称为投影中心。投影中心在地图平面上，一般取其为平面坐标原点。正轴方位投影与横轴方位投影都是斜轴方位投影的特例。在制图实践中，广泛应用斜轴方位投影。

方位投影所有等高圈投影为同心圆，圆心位于投影中心点上，垂直圈投影后为通过投影中心的直线，并且任意两条垂直圈的夹角投影后与实地相等。如图

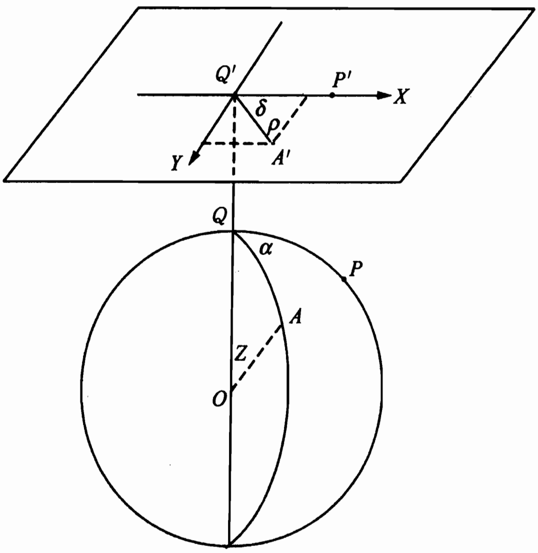


图 4.3　方位投影示意图

4.3，Q 为球面坐标极，其地理坐标为（φ_0，λ_0），P 为地理坐标极，PQ 为过新极点的子午圈。地球面上一点 A，其地理坐标为（φ，λ），在球面坐标系中的球面坐标为（Z，α），投影在平面上为 A'，其平面极坐标为 ρ，δ。

根据方位投影的定义，其坐标及变形计算的一般公式为

$$
\left.\begin{aligned}
\rho &= f(Z) \\
\delta &= \alpha \\
x &= \rho\cos\delta \\
y &= \rho\sin\delta \\
\mu_1 &= \frac{\mathrm{d}\rho}{R\mathrm{d}Z} \\
\mu_2 &= \frac{\rho}{R\sin Z} \\
p &= \frac{\rho\mathrm{d}\rho}{R^2\sin Z\mathrm{d}Z} \\
\sin\frac{\omega}{2} &= \left|\frac{\mu_2-\mu_1}{\mu_2+\mu_1}\right|
\end{aligned}\right\} \tag{4-2}
$$

式中：ρ 为等高圈（纬线圈）投影半径；δ 为两垂直圈（经线圈）的夹角；Z、α 为球面坐标系中极距、方位角，Z、α 的计算由（4-1）式决定；μ_1、μ_2 为沿垂直圈、等高圈方向的长度比；p 为面积比；ω 为角度最大变形。

由（4-2）式可以看出，所有方位投影具有共同特征，就是由投影中心到任何一点的方位角保持与实地相等。方位投影取决于 $\rho=f(Z)$ 的函数形式，函数形式一经确定，其投影也随之而定。$\rho=f(Z)$ 函数形式的确定，取决于不同的投影条件，由于确定 ρ 的条件有多种，故方位投影也有很多种。通常 ρ 是按几何透视方法或按投影条件方法来确定。

分析（4-2）式，沿垂直圈、等高圈方向的长度比 μ_1、μ_2 仅是极距 Z 的函数，因此，方位投影的等变形线形状是与等高圈一致的同心圆弧（图 4.4），因而方位投影适合制作圆形区域的地图。正轴方位投影可作两极地区地图；横轴方位投影可作赤道附近圆形区域地图；斜轴方位投影可作中纬度地区圆形区域地图。应用方位投影作图，其范围一般不超过半球，所以，南、北半球图一般用正方位投影，东、西半球图一般用横方位投影，水、陆半球图一般用斜方位投影。

方位投影的计算步骤如下：

1）确定球面坐标极 $Q(\varphi_0,\lambda_0)$，一般选定制图区域的中心。

2）由地理坐标（φ，λ）计算球面坐标（Z，α）。

3）计算投影平面极坐标 ρ、δ 和平面直角坐标 x、y。

4）计算长度比、面积比和角度最大变形。

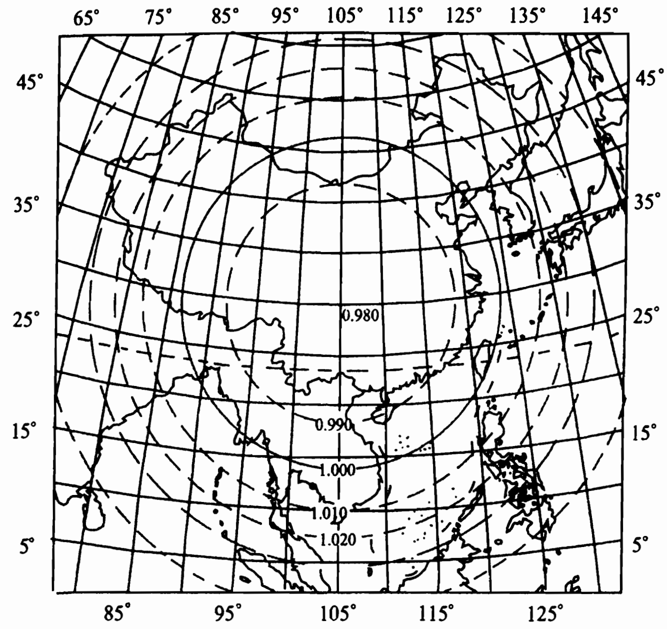


图 4.4　方位投影等变形线形状

三、透视方位投影

透视方位投影设想有一平面切（割）在地球上某一点（一小圆圈）位置上，过地球中心作一直线垂直于切（割）平面，有一视点在此直线上，用直线透视的道理，将地球面上的垂直圈、等高圈投影于这个平面上，构成透视方位投影。函数 $\rho=f(Z)$ 用几何透视的方法来确定。

如图 4.5 所示，T 是切于投影中心点 Q 的投影平面，S 为视点，SQ 是过地球中心的透视轴，地球面上任一点 A，其球面坐标为 Z、α。

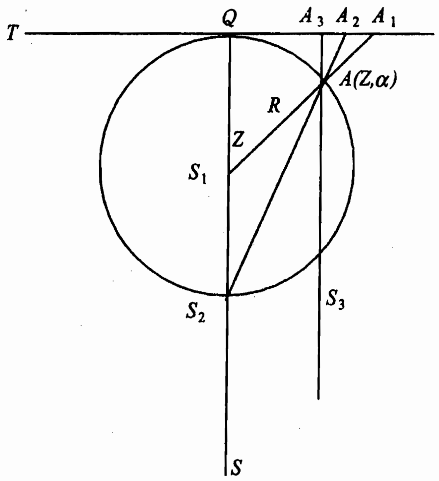


图 4.5　透视方位投影

（一）球心投影

球心投影是视点位于地球中心 S_1 的透视方位投影，球心投影又叫日晷投影。此时，A 点在平面 T 上的投影为 A_1，所以 $\rho=QA_1=R\tan Z$，代入（4-2）式得到球心投影的公式为

$$\left.\begin{aligned}
&\rho = R\tan Z \\
&\delta = \alpha \\
&x = \rho\cos\delta = R\tan Z\cos\alpha \\
&y = \rho\sin\delta = R\tan Z\sin\alpha \\
&\mu_1 = \sec^2 Z \\
&\mu_2 = \sec Z \\
&p = \sec^3 Z \\
&\sin\frac{\omega}{2} = \tan^2\frac{Z}{2}
\end{aligned}\right\} \tag{4-3}$$

表 4.1　球心投影变形表

Z	μ_1	μ_2	p	ω
0°	1.0000	1.0000	1.0000	0°0′
15°	1.0718	1.0353	1.1096	1°59′
30°	1.3333	1.1547	1.5396	8°14′
45°	2.0000	1.4142	2.8284	19°45′
60°	4.0000	2.0000	8.0000	38°57′
75°	14.9282	3.8637	57.6781	72°09′
90°	∞	∞	∞	180°00′

由表 4.1 可知，球心投影属任意性质的投影，除中心点无变形外，其他地区的变形都很大，离中心点越远，变形增长越快，到 $Z=90°$ 处，长度变形、面积变形为无穷大。因此，该投影不可能作半球图，也不适合作一般用途的地图。

图 4.6 为球心投影的经纬线图形，这些图中的经线和赤道都投影成直线。

球心投影有一个重要特性：球面上的任一大圆在球心投影地图上为一直线。故球心投影常用来作航海图。因为在地球面上，大圆线是两点间的最短距离线，在球心投影地图上，连接航线始、终点的直线即为航行的最短距离。但是，由于该投影的角度变形和长度变形均大，沿此航线航行时，要不断修正航向，领航极为不便，所以该投影图常与等角投影图配合使用。

在军事上，球心投影常用来制作无线电定位图。在地面上设立两个以上的电台，用无线电测角仪同时测量某一目标的方位角，所测得的方位角线是大圆线。所以，在球心投影图上，两个以上电台测得的直线交点即为目标点。但因球心投影有角度变形，所以在图上还要进行改正。

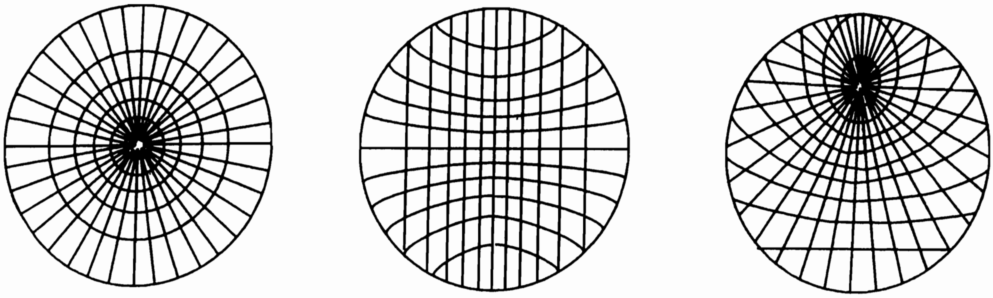


图 4.6　正球心、横球心和斜球心投影

（二）球面投影

球面投影是视点位于球面上 S_2 的透视方法投影（图 4.5），此时，A 点在平面 T 上的投影为 A_2，所以 $\rho=QA_2=2R\tan\dfrac{Z}{2}$，代入（4-2）式得到球面投影的公式为

$$\left.\begin{aligned}
&\rho = 2R\tan\frac{Z}{2}\\
&\delta = \alpha\\
&x = \rho\cos\delta = 2R\tan\frac{Z}{2}\cos\alpha\\
&y = \rho\sin\delta = 2R\tan\frac{Z}{2}\sin\alpha\\
&\mu_1 = \sec^2\frac{Z}{2}\\
&\mu_2 = \sec^2\frac{Z}{2}\\
&p = \sec^4\frac{Z}{2}\\
&\omega = 0
\end{aligned}\right\}\qquad(4\text{-}4)$$

由表 4.2 可知，球面投影变形比球心投影小得多，特别是球面投影没有角度变形。因此，球面投影就是等角方位投影。

图 4.7 为球面投影的经纬线图形，它们的经纬线网都是由圆弧构成，在个别地方表现为直线。

表 4.2　球面投影变形表

Z	μ_1	μ_2	p	ω
0°	1.0000	1.0000	1.0000	0°00′
15°	1.0173	1.0173	1.0349	0°00′
30°	1.0718	1.0718	1.1488	0°00′
45°	1.1716	1.1716	1.3726	0°00′
60°	1.3333	1.3333	1.7777	0°00′
75°	1.5888	1.5888	2.5243	0°00′
90°	2.0000	2.0000	4.0000	0°00′

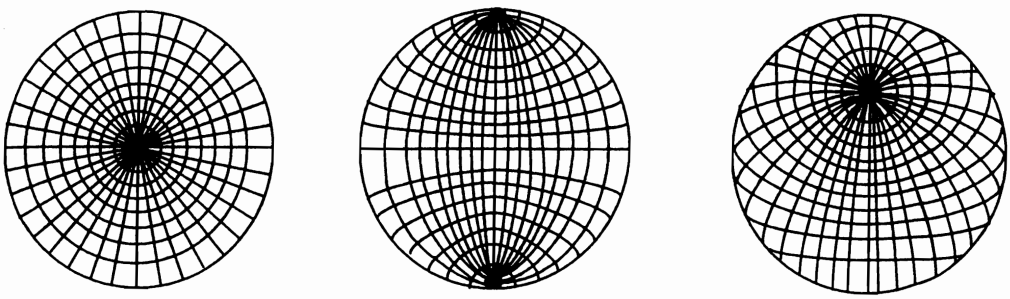


图 4.7　正轴、横轴和斜轴球面投影

球面投影常用于制作较大区域的地图，如中华人民共和国全图。有的国家还用该投影作地形图，例如美国规定在纬度±79°30′以上地区用该投影作地形图，取名通用极球面投影（简称 UPS 投影），其投影系数 $u_0=0.994$。此外，有的国家还用该投影作航空图或编制星体图。

球面投影亦具有一个重要特性，即球面上的任何大、小圆投影后仍为圆。利用这一特性可制作某些专题图，如广播卫星覆盖地域图、武器射程半径图等。在天文、航海方面也有一定应用价值。

（三）正射投影

在图 4.5 中，当视点 S_3 位于无穷远处，称正射投影，A 点在平面 T 上的投影为 A_3。此时，$\rho=QA_3=R\sin Z$，代入（4-2）式得到正射投影的公式为

$$\left.\begin{aligned}
&\rho = R\sin Z \\
&\delta = a \\
&x = \rho\cos\delta = R\sin Z\cos a \\
&y = \rho\sin\delta = R\sin Z\sin a \\
&\mu_1 = \cos Z \\
&\mu_2 = 1 \\
&p = \cos Z \\
&\sin\frac{\omega}{2} = \tan^2\frac{Z}{2}
\end{aligned}\right\} \tag{4-5}$$

正射投影的等高圈没有长度变形，垂直圈长度比和面积比都小于1，角度变形随着 Z 值增大而增大，属于任意性质投影，常用于绘制天体图。

四、等角方位投影

等角方位投影根据等角条件来确定 $\rho = f(Z)$ 的函数形式，即投影后不产生角度变形，变形椭圆为圆。在方位投影中，垂直圈和等高圈投影后互相垂直，垂直圈和等高圈方向为主方向，且具有极值长度比。所以，等角方位投影的条件为 $\mu_1=\mu_2$，由（4-2）式得

$$\frac{\mathrm{d}\rho}{R\mathrm{d}Z} = \frac{\rho}{R\sin Z} \tag{4-6}$$

对（4-6）式积分得 $\rho=2R\cos^2\frac{Z_0}{2}\tan\frac{Z}{2}$，代入（4-2）式得到等角方位投影公式为

$$\left.\begin{aligned}
&\rho = 2R\cos^2\frac{Z_0}{2}\tan\frac{Z}{2} \\
&\delta = a \\
&x = \rho\cos\delta = 2R\cos^2\frac{Z_0}{2}\tan\frac{Z}{2}\cos a \\
&y = \rho\sin\delta = 2R\cos^2\frac{Z_0}{2}\tan\frac{Z}{2}\sin a \\
&\mu = \mu_1 = \mu_2 = \cos^2\frac{Z_0}{2}\sec^2\frac{Z}{2} \\
&p = \cos^4\frac{Z_0}{2}\sec^4\frac{Z}{2} \\
&\omega = 0
\end{aligned}\right\} \tag{4-7}$$

在（4-7）式中，Z_0 是投影平面与地球相割所得等高圈的极距，当 $Z_0=0$ 时，则为等角切方位投影。等角方位投影也就是前面所述的球面投影。

五、等面积方位投影

等面积方位投影保持投影前后的面积相等，即满足等面积条件 $\mu_1\mu_2=1$，此时，$\rho=2R\sin\dfrac{Z}{2}$，代入（4-2）式得到等面积方位投影公式为

$$\left.\begin{aligned}
&\rho = 2R\sin\frac{Z}{2}\\
&\delta = a\\
&x = \rho\cos\delta = 2R\sin\frac{Z}{2}\cos a\\
&y = \rho\sin\delta = 2R\sin\frac{Z}{2}\sin a\\
&\mu_1 = \cos\frac{Z}{2}\\
&\mu_2 = \sec\frac{Z}{2}\\
&p = 1\\
&\tan\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\omega}{4}\right) = \sec\frac{Z}{2}
\end{aligned}\right\} \tag{4-8}$$

等面积方位投影面积没有变形，等高圈长度比都大于 1，垂直圈长度比都小于 1，变形椭圆在中央经线上呈扁椭圆形状。其经纬线形状如图 4.8 所示。

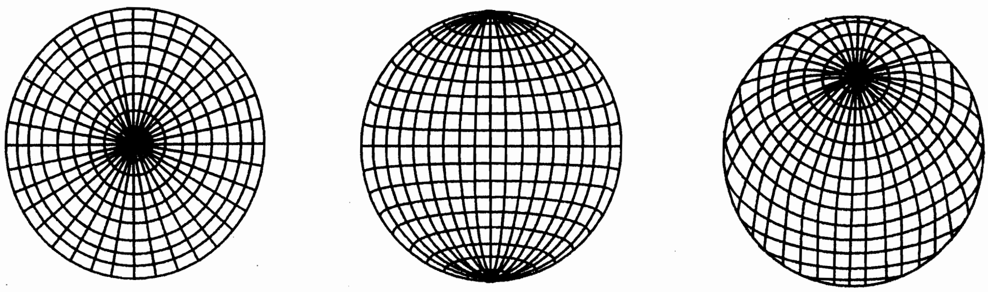


图 4.8　正轴、横轴和斜轴等面积方位投影

等面积方位投影适合制作要求保持面积正确的近似圆形地区的区域地图，如普通地图、行政区划图、政治形势图等。等面积正方位投影用于制作极区地图和南北半球图；等面积横方位投影用于制作赤道附近圆形区域地图，如非洲图、东西半球图；等面积斜方位投影用于制作中纬度近似圆形区域的地图，如亚洲图

(图 4.9)、欧亚大陆图、美洲图、中国全图、水陆半球图等。

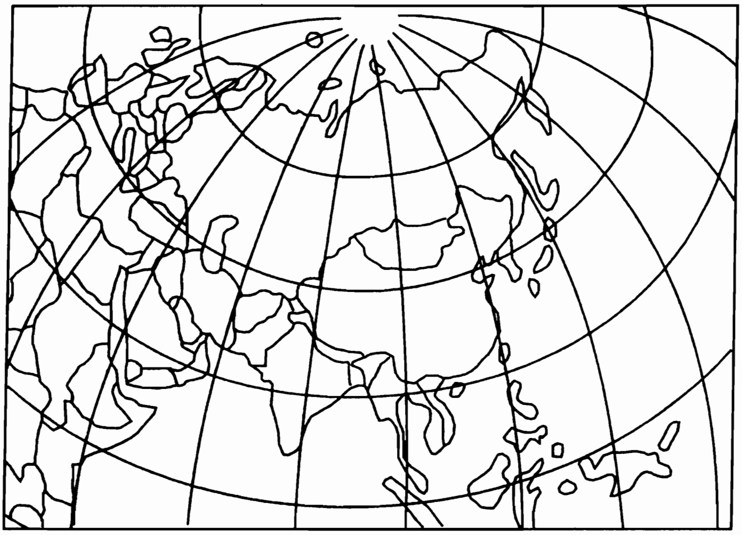


图 4.9　亚洲全图等积斜方位投影

六、等距离方位投影

等距离方位投影是从投影中心至地球面上任一点的距离投影后不变形的方位投影，其投影条件使垂直圈长度比 μ_1 为 1，由 (4-2) 式得

$$\frac{d\rho}{RdZ}=1 \tag{4-9}$$

对 (4-9) 式积分得 $\rho=RZ$，代入 (4-2) 式得到等距离方位投影公式为

$$\left.\begin{aligned}
&\rho=RZ\\
&\delta=a\\
&x=\rho\cos\delta=RZ\cos a\\
&y=\rho\sin\delta=RZ\sin a\\
&\mu_1=1\\
&\mu_2=\frac{Z}{\sin Z}\\
&p=\frac{Z}{\sin Z}\\
&\sin\frac{\omega}{2}=\frac{Z-\sin Z}{Z+\sin Z}
\end{aligned}\right\} \tag{4-10}$$

等距离方位投影的垂直圈没有长度变形，等高圈长度比和面积比都放大，角

度变形比等面积方位投影小，面积变形比等角投影小，变形椭圆在中央经线上呈扁椭圆形状。其经纬线形状如图 4.10 所示。

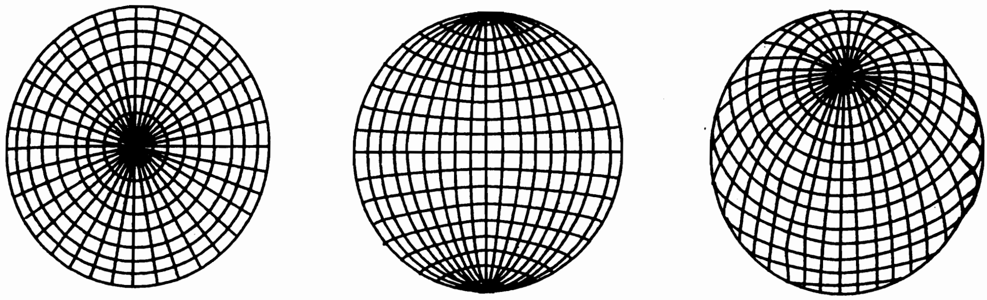


图 4.10　正轴、横轴和斜轴等距离方位投影

等距离方位投影的应用比较广泛，适合制作圆形区域地图。由于各种变形适中，常用于制作普通地图、政区图、自然地理图等，大多数世界地图集中的南北极地区图也采用正轴等距离方位投影。横轴等距离方位投影用来编制东西半球图；斜轴等距离方位投影在制图实践中应用也较多，如东南亚地区图及中华人民共和国全图（图 4.11）。

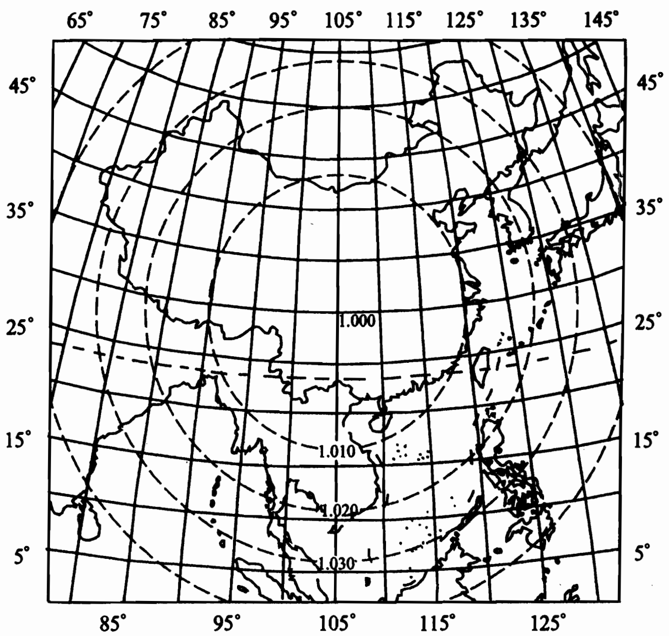


图 4.11　中国全图斜轴等距离方位投影

由于该投影从投影中心至区域内任意点的距离和方位保持准确，所以，该投影可用来制作具有特殊用途要求的专题地图，例如，以某飞行基地为中心的飞行

半径图、以导弹发射井为中心的打击目标图、以地震观测站为中心的地震图等。

第二节　圆柱投影及其应用

一、圆柱投影的概念及一般公式

从几何意义上看，圆柱投影是以圆柱面为投影面，按某种投影条件，将地球面上的经纬线网投影于圆柱面上，然后，沿圆柱面的某一母线切开展成平面的一种投影（图 4.12）。

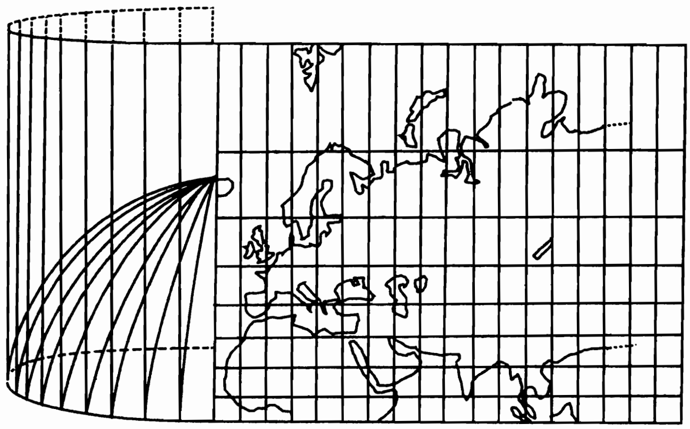


图 4.12　正轴圆柱投影示意图

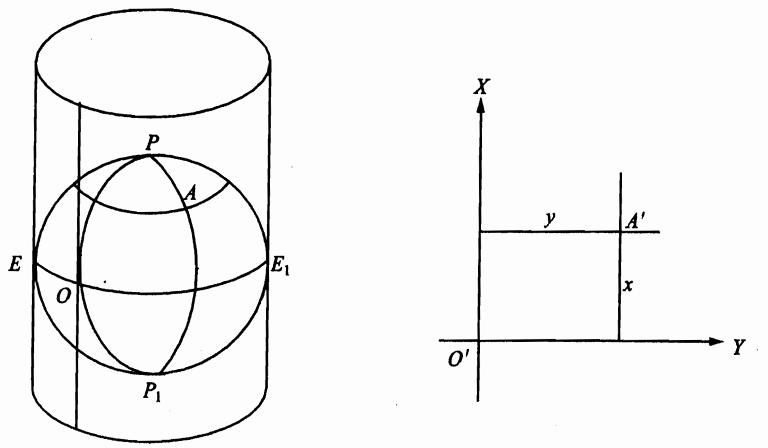


图 4.13　正轴圆柱投影坐标关系

圆柱投影有正轴、横轴和斜轴投影三种情况，按变形性质分为等角、等面积和任意投影。在制图实践中，广泛应用正圆柱投影。

在正圆柱投影中，纬线投影为平行直线，经线投影为与纬线正交的另一组平行直线，两经线间的间隔与相应经差成正比。

如图 4.13 所示，设区域中央经线的投影作为 X 轴，赤道投影作为 Y 轴，根据定义，正圆柱投影的坐标及变形计算一般公式为

$$\left.\begin{aligned} x &= f(B) \\ y &= c \cdot l \\ m &= \frac{\mathrm{d}x}{M\mathrm{d}B} \\ n &= \frac{c}{r} \\ p &= mn \\ \sin\frac{\omega}{2} &= \left|\frac{m-n}{m+n}\right| \end{aligned}\right\} \tag{4-11}$$

式中：m、n 为沿经线、纬线方向长度比；M、r 为子午圈曲率半径、纬线圈半径；l 为与中央经线的经差；c 为常数。当圆柱与地球相切时，c 为赤道半径，即 $c=a$；当圆柱与地球相割时，c 为标准纬线半径，即 $c=r_0=N_0\cos B_0$。

由（4-11）式可知，确定某一具体的圆柱投影，实质就是确定 $x=f(B)$ 的具体函数形式，而这一函数形式只取决于投影性质，而与投影切、割的位置无关。

由变形公式可知，正圆柱投影的各种变形均只是纬度 B 的函数，与径差 l 无关，等变形线形状与纬线相一致，是平行标准纬线的直线。所以，正圆柱投影适合制作沿纬线延伸地区的地图，特别是沿赤道延伸地区的地图。

二、等角正圆柱投影（墨卡托投影）

等角正圆柱投影是 16 世纪荷兰制图学家墨卡托（Mercator，1512～1594 年）创制并用于编制海图的，故通常称墨卡托投影。

由于该投影的经纬线正交，所以等角条件为 $m=n$，于是得到 $x=c\ln U$，代入（4-11）式，得到等角正圆柱投影公式为

$$\left.\begin{aligned} x &= c\ln U \\ y &= c \cdot l \\ \mu &= m = n = \frac{c}{r} \\ p &= \mu^2 \\ \omega &= 0 \end{aligned}\right\} \tag{4-12}$$

式中：$U=\tan\left(\frac{\pi}{4}+\frac{B}{2}\right)\left(\frac{1-e\sin B}{1+e\sin B}\right)^{\frac{e}{2}}$，$e$ 为地球椭球体第一偏心率。

由表 4.3 可知，在等角正切圆柱投影中，赤道没有变形，随着纬度升高，变形迅速增大。在等角正割圆柱投影中，两标准纬线上无变形；两标准纬线之间是负向变形，即投影后长度缩短了；两标准纬线以外是正向变形，即投影后长度变长了，且离标准纬线越远变形越大。无论是切还是割投影，赤道上的长度比为最小，两极的长度比为无穷大。面积比是长度比的平方，所以面积变形很大。例如，格林兰岛的实地面积仅是南美洲的 1/8 左右，但从等角圆柱投影图上看，它比南美洲还大（图 4.14）。

表 4.3　等角正圆柱投影变形表

B		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	80°	90°
μ	切	1.0000	1.0153	1.0638	1.1539	1.3036	1.5567	1.9950	5.7400	∞
	割	0.8668	0.8800	0.9220	1.0000	1.1279	1.3458	1.7291	4.9752	∞

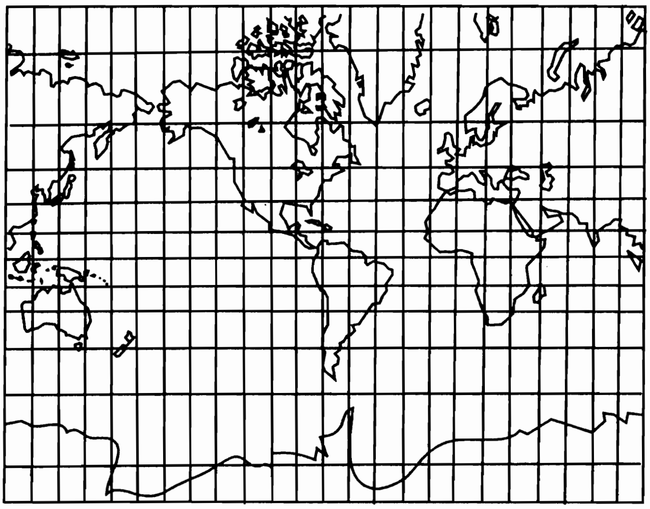


图 4.14　墨卡托投影图

三、墨卡托投影的应用

分析墨卡托投影变形情况可知，切投影仅适合制作赤道附近沿纬线延伸地区的地图。割投影适合制作沿纬线延伸地区的地图，如标准纬线选择恰当，割投影的变形可以比切投影的变形减少一半。不论是切投影还是割投影，均不适合制作高纬度地区的地图。墨卡托投影虽然在长度和面积方面的变形很大，但几个世纪以来，世界各国一直用它作海图，这主要是由于等角航线投影成直线这一特性，便于在海图上进行航迹绘算。

等角航线是地球面上一条与所有经线相交成等方位角的曲线，又名恒向线、斜航线。地球面上的等角航线在墨卡托投影图上描写为直线，这一特性，使领航十分简便。在墨卡托投影图上，连接起、终点的直线就是等角航线，量出它与经线的夹角即是航向角，保持此角航行就能到达终点。但是，在地球面上，任意两点间的最短距离是大圆航线，而不是等角航线，如图 4.15，从好望角到墨尔本，大圆航线为 5450n mile，等角航线为 6020n mile。沿等角航线航行，虽领航简便，但航程较远。因此，在远洋航行时，把两者结合起来，即在球心投影图上，把始点、终点连成直线即为大圆航线，然后把该大圆航线所经过的主要特征点转绘到墨卡托投影图上，依次将各点连成直线，各段直线就是等角航线。航行时，沿此折线而行。因而，总的来说，是沿大圆航线航行，航程较短；但就某一段直线而言，走的又是等角航线，便于领航。

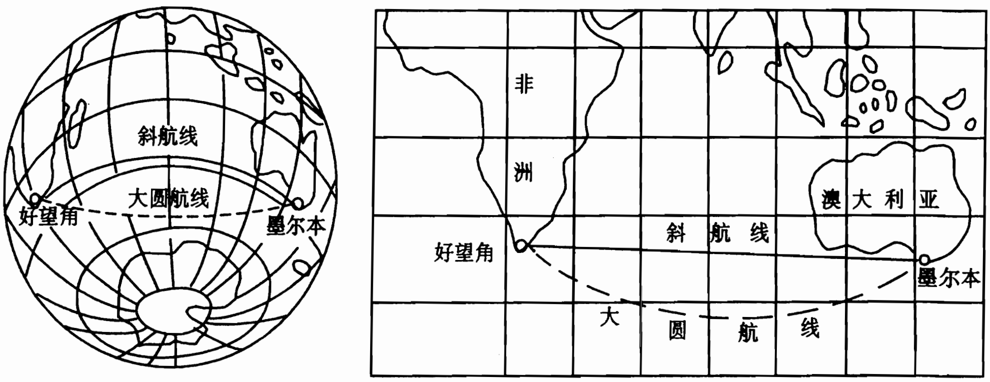


图 4.15　等角航线与大圆航线

同时，墨卡托投影又是等角投影，能保持方位正确，图上作业十分便利；经纬线为正交的平行直线，计算简单，绘制方便。在墨卡托投影图上加绘某些位置线（如双曲线），构成双曲线导航图等，进一步扩大了墨卡托投影图的应用范围。

标准纬线又叫基准纬线。我国海图基准纬线选择总的原则是使变形尽可能小，分布均匀，图幅便于拼接使用。海湾图的基准纬线选择在本港湾或本地区的中纬线上；1∶5 万海岸图按海区分别采用统一规定的基准纬线；1∶10 万和更小比例尺的成套海图，全区域统一采用北纬 30°为基准纬线。

墨卡托投影除了编制海图外，在赤道附近，例如印度尼西亚、赤道非洲、南美洲等地区，也可用来编制各种比例尺地图，在我国出版的一些地图集中，有些图幅采用该投影。我国 1973 年出版的 1∶1000 万《世界形势图》采用墨卡托投影，标准纬线为 35°。

墨卡托投影因其经线为平行直线，与世界时区的划分一致，故用来编制世界时区图。该投影的变形与经度无关，表示范围可以大于经度 360°，便于交通航

线的表达，所以，该投影常用来制作某些世界范围的专题地图，例如世界交通图、卫星轨迹图（图 4.16）等。

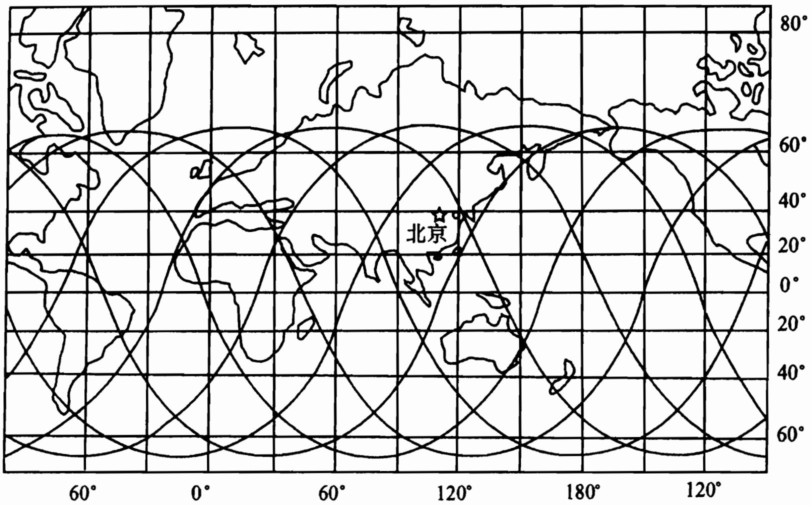


图 4.16　墨卡托投影用于卫星轨迹图

此外，国外地图和地图集中也经常看到用墨卡托投影编制地图。例如，法国的《国际政治与经济地图集》中的新旧大陆自然图、新旧大陆航空路线图、新旧大陆交通图；英国《泰晤士地图集》中太平洋、大西洋图；德国《斯底莱大地图集》中的世界图；前苏联《海图集》中的大量图幅也是采用墨卡托投影。

四、等面积、等距离正圆柱投影

（一）等面积正圆柱投影

根据等面积投影条件 $m \cdot n=1$，即 $\frac{\mathrm{d}x}{M\mathrm{d}B} \cdot \frac{c}{r}=1$，求得 $x=\frac{1}{c}F$，代入(4-11)式得到等面积正圆柱投影公式为

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{1}{c}F \\ y &= c \cdot l \\ m &= \frac{r}{c} \\ n &= \frac{c}{r} \\ p &= 1 \\ \tan\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\omega}{4}\right) &= \frac{c}{r} \end{aligned}\right\} \tag{4-13}$$

式中：$F=\int_0^B Mr\mathrm{d}B$，即经差 1 弧度、纬度从 0°到 B 的椭球面上球面梯形面积。

（二）等距离正圆柱投影

由等距离投影条件 $m=1$，即 $\frac{\mathrm{d}x}{M\mathrm{d}B}=1$，可得 $x=S_m$，代入（4-11）式得到等距离正圆柱投影公式为

$$\left.\begin{aligned}
&x=S_m\\
&y=c\cdot l\\
&m=1\\
&n=\frac{c}{r}\\
&p=\frac{c}{r}\\
&\sin\frac{\omega}{2}=\left|\frac{r-c}{r+c}\right|
\end{aligned}\right\}\tag{4-14}$$

式中：$S_m=\int_0^B M\mathrm{d}B$，即纬度从 0°到 B 的椭球面上经线弧长。

对于切投影，如视地球为半径 R 的球体，则等距离正切圆柱投影公式为

$$\left.\begin{aligned}
&x=R\varphi,y=R\lambda\\
&m=1,\ n=\sec\varphi\\
&p=\sec\varphi,\ \sin\frac{\omega}{2}=\tan^2\frac{\varphi}{2}
\end{aligned}\right\}\tag{4-15}$$

由（4-15）式，该投影的经纬线网为正方形，故该投影又称为“方格投影”。

第三节　圆锥投影及其应用

一、圆锥投影概念及一般公式

从几何上讲，圆锥投影是以圆锥面作为投影面，按一定条件，将地球椭球面上的经纬线投影于圆锥面上，然后沿着某一条母线展开成平面的一种投影（图 4.17）。

圆锥面与地球椭球面相切时称为切圆锥投影，圆锥面与地球椭球面相割时称为割圆锥投影。根据圆锥面与地球椭球面所处的相对位置，可分为正圆锥、横圆

锥、斜圆锥投影。在制图实践中，广泛应用各种不同性质的正轴圆锥投影。

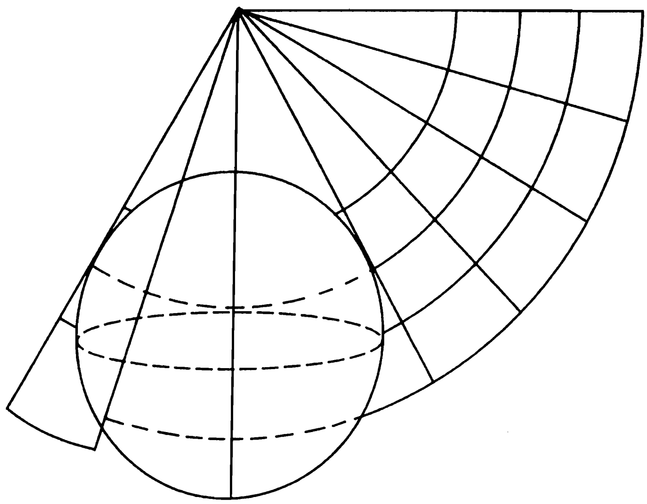


图 4.17　正圆锥投影示意图

如图 4.18，对正投影而言，设区域中央经线投影作为 X 轴，区域最低纬线与中央经线交点为原点，根据定义，正圆锥投影的坐标及变形计算一般公式为

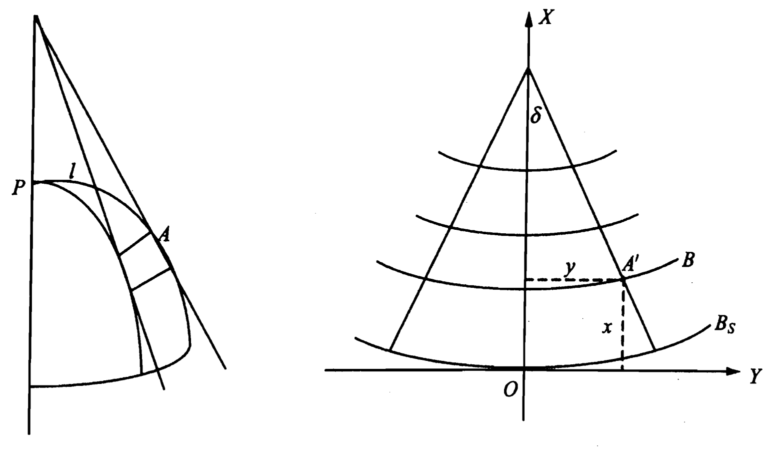


图 4.18　正圆锥投影坐标关系

$$\left.\begin{aligned}
&\rho = f(B)\\
&\delta = \alpha \cdot l\\
&x = \rho_s - \rho\cos\delta\\
&y = \rho\sin\delta\\
&m = -\frac{\mathrm{d}\rho}{M\mathrm{d}B}\\
&n = \frac{\alpha\rho}{r}\\
&p = mn\\
&\sin\frac{\omega}{2} = \left|\frac{m-n}{m+n}\right|
\end{aligned}\right\} \tag{4-16}$$

式中：ρ 为纬线圈投影半径；δ 为两经线在投影平面上的夹角；α 为比例常数，$0<\alpha<1$；ρ_s 为区域最低纬线 B_s 的投影半径。

由（4-16）式可知，正圆锥投影的各种变形均只是纬度 B 的函数，与经度 L 无关，也就是说，在同一条纬线上各点的变形相等，故等变形线的形状是与纬线一致的同心圆弧（图 4.19）。所以，正圆锥投影适合制作沿纬线延伸的中纬度地区的地图。

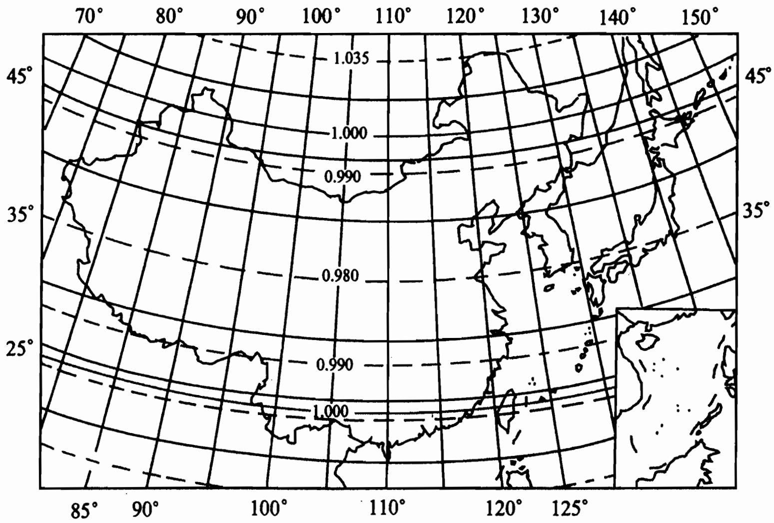


图 4.19　正圆锥投影等变形线形状

由于地球上广大陆地位于中纬度地区，加之该投影的经纬线形状简单，便于地图使用中的量算、比较，所以，正圆锥投影广泛应用于编制各种比例尺的地图。

圆锥投影主要取决于ρ的函数形式，不同圆锥投影的区别在于ρ的函数形式的不同。α的变化与圆锥面的切、割和切、割的位置有关。当$\alpha=1$时，圆锥面变为平面，即得到方位投影；当$\alpha=0$时，圆锥面变为圆柱面，即得到圆柱投影。所以方位投影和圆柱投影都是圆锥投影的特例。

二、等角正圆锥投影

等角正圆锥投影是按等角条件决定$\rho=f(B)$函数形式的一种圆锥投影。在等角正圆锥投影中，经纬线是正交的，其等角条件为$m=n$，此时，$\rho=\frac{C}{U^{\alpha}}$，代入（4-16）式得到等角正圆锥投影公式为

$$\left.\begin{aligned}&\rho=\frac{C}{U^{\alpha}}\\&\delta=\alpha\cdot l\\&x=\rho_s-\rho\cos\delta\\&y=\rho\sin\delta\\&\mu=m=n=\frac{\alpha C}{rU^{\alpha}}\\&p=mn=\left(\frac{\alpha C}{rU^{\alpha}}\right)^2\\&\omega=0\end{aligned}\right\}\tag{4-17}$$

式中：C为常数，其几何意义是赤道投影半径。

确定常数α、C，其实质是确定标准纬线。等角正圆锥投影有切与割两种情况，也称之为单标准纬线等角圆锥投影和双标准纬线等角圆锥投影。

（一）等角切圆锥投影

等角切圆锥投影，就是保持制图区域内一条纬线长度不变形，从而决定α、C。

1. *指定单标准纬线B_0的方法*

这种情况下，通常指定制图区域内某一条纬线B_0或沿着制图区域中部的一条纬线B_0上无长度变形，则

$$\alpha=\sin B_0,\ C=N_0\cot B_0U_0^{\alpha}\tag{4-18}$$

2. *按区域边纬线长度比相等确定单标准纬线B_0的方法*

设制图区域南北边纬线的纬度分别为B_S、B_N，根据边纬线长度比相等的条件$n_S=n_N$，则

$$\alpha = \frac{\ln r_S - \ln r_N}{\ln U_N - \ln U_S} \tag{4-19}$$

所以

$$\left.\begin{aligned} B_0 &= \arcsin\alpha \\ C &= N_0 \cot B_0 U_0^{\alpha} \end{aligned}\right\} \tag{4-20}$$

（二）等角割圆锥投影

等角割圆锥投影，是保持制图区域内两条纬线长度不变形，即圆锥面与地球椭球面上某两条纬线相割，也称双标准纬线等角圆锥投影。

1. *指定双标准纬线 B_1、B_2 的方法*

通常指定制图区域内某两条纬线 B_1、B_2 或分布在制图区域中部的两条纬线 B_1、B_2 上无长度变形，则

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \frac{\ln r_1 - \ln r_2}{\ln U_2 - \ln U_1} \\ C &= \frac{r_1 U_1^{\alpha}}{\alpha} = \frac{r_2 U_2^{\alpha}}{\alpha} \end{aligned}\right\} \tag{4-21}$$

2. *按投影区域边纬线与中纬线长度变形绝对值相等的方法*

在投影区域内，中纬线的纬度为 $B_m = \frac{1}{2}(B_S + B_N)$，则

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \frac{\ln r_S - \ln r_N}{\ln U_N - \ln U_S} \\ C &= \frac{1}{\alpha}\sqrt{r_N r_m U_N^{\alpha} U_m^{\alpha}} = \frac{1}{\alpha}\sqrt{r_S r_m U_S^{\alpha} U_m^{\alpha}} \end{aligned}\right\} \tag{4-22}$$

由（4-17）式计算变形值。表 4.4 表明，在等角切圆锥投影中，标准纬线上没有变形。标准纬线以外，变形逐渐增大。在离标准纬线纬差相等的情况下，其变形变化不均匀，标准纬线以北的变形比以南的变形增长要快些；在等角割圆锥投影中，标准纬线上没有变形，离标准纬线越远变形越大。在两条标准纬线之间为负向变形，两条标准纬线以外是正向变形。标准纬线以北的变形增长快于南边。

与等角切圆锥投影相比，等角割圆锥投影能减小制图区域长度变形，有效改善变形分布。所以，在制图实践中，常用等角割圆锥投影。

表 4.4　等角正圆锥投影变形表

B	等角切圆锥　$B_0=36°$	等角割圆锥　$B_1=27°$　$B_2=45°$
	$m=n$	$m=n$
54°	1.0564	1.0423
50°	1.0327	1.0192
46°	1.0161	1.0031
42°	1.0056	0.9930
38°	1.0006	0.9882
36°	1.0000	0.9883
34°	1.0006	0.9884
30°	1.0053	0.9933
26°	1.0147	1.0028
22°	1.0288	1.0169
18°	1.0476	1.0357

三、等角圆锥投影的应用

1962 年联合国在德国波恩举行的世界百万分之一国际地图技术会议上，建议用等角圆锥投影替代改良多圆锥投影作为百万分之一地图的数学基础。

对于全球而言，百万分之一地图采用两种投影，即由 80°S 至 84°N 之间采用等角圆锥投影。极区附近，即由 80°S 至南极、84°N 至北极，采用极球面投影(正等角方位投影的一种)。地图分幅如表 4.5。

表 4.5　百万分之一地图分幅

纬度范围	纬差	经差
0°～60°	4°	6°
60°～76°	4°	12°
76°～84°	4°	24°
84°～88°	4°	36°
88°以上	一幅	

自 1978 年以来，我国决定采用等角圆锥投影作为 1∶100 万地形图的数学基础，其分幅与国际百万分之一地图分幅完全相同。我国处于北纬 60°以下的北半球内，因此本土的地形图都采用双标准纬线正等角圆锥投影。从赤道起算，纬差每 4°一幅作为一个投影带，单独进行投影，等角圆锥投影常数 α、C 由边纬与中

纬长度变形绝对值相等的条件求得，即由（4-22）式决定。

该投影为等角割圆锥投影，投影变形很小，在每个投影带内，长度变形最大值为±0.3‰，面积变形最大值为±0.6‰。每个投影带的两条标准纬线近似位于边纬线内侧 35′处（图 4.20），即

$$\left.\begin{aligned} B_1 &\approx B_S + 35' \\ B_2 &\approx B_N - 35' \end{aligned}\right\} \tag{4-23}$$

由于经线是辐射状直线，同纬度的相邻图幅在同一个投影带内，所以，东西相邻图幅可以完全拼接。但上下相邻图幅拼接时，因拼接纬线在不同的投影带，投影后其曲率不同，致使其不能完全吻合，拼接会有裂隙（图 4.21），裂隙大小随纬度的增加而减小。相邻带两幅图以中央经线为准拼接时，裂隙在赤道附近约为 0.6mm，在中纬度地区约为 0.3～0.4mm。

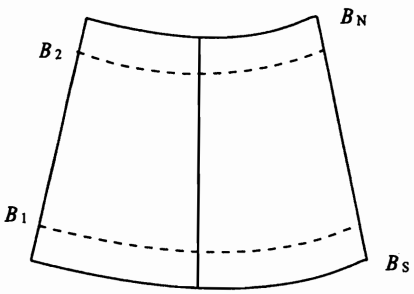


图 4.20　两条标准纬线位置

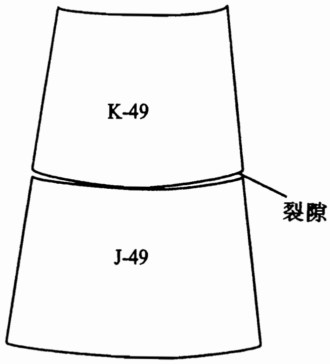


图 4.21　上下两幅图拼接

在地形图方面，还有诸如德国、比利时、西班牙、智利、印度以及北非和中东等国家和地区的地形图现在正用或曾用过等角圆锥投影作为地形图的数学基础。

在航空图方面，各国 1∶100 万、1∶200 万、1∶400 万的航空图都采用该投影作为数学基础。我国也用该投影来编制 1∶100 万和 1∶200 万航空图。

在区域图方面，圆锥投影适宜于作沿纬线延伸地区的区域图。等角圆锥投影广泛用作编制省（区）图的数学基础。例如，《中华人民共和国普通地图集》、《自然地图集》、《军官地图集》中的省（区）图，都采用等角圆锥投影。

四、等面积、等距离正圆锥投影

（一）等面积圆锥投影

等面积圆锥投影是按等面积条件决定 $\rho = f(B)$ 函数形式的一种圆锥投影，

其等面积条件为 $m \cdot n=1$，此时，$\rho^2=\frac{2}{\alpha}(C-F)$，代入（4-16）式得等面积圆锥投影公式为

$$\left.\begin{aligned}
&\rho^2=\frac{2}{\alpha}(C-F)\\
&\delta=\alpha\cdot l\\
&x=\rho_s-\rho\cos\delta\\
&y=\rho\sin\delta\\
&n^2=\frac{2\alpha(C-F)}{r^2}\\
&m=\frac{1}{n}\\
&p=1\\
&\sin\frac{\omega}{2}=\left|\frac{m-n}{m+n}\right|
\end{aligned}\right\} \tag{4-24}$$

式中：$F=\int_0^B Mr\,\mathrm{d}B$，即经差 1 弧度、纬度从 0°到 B 的椭球面上球面梯形面积。

等面积圆锥投影保持了制图区域面积不变形，但角度变形较大，沿经线方向长度比与沿纬线方向长度比互为倒数。

（二）等距离圆锥投影

在等距离正圆锥投影中，其等距离条件为 $m=1$，此时，$\rho=C-S_m$，代入（4-16）式得到等距离圆锥投影公式为

$$\left.\begin{aligned}
&\rho=C-S_m\\
&\delta=\alpha\cdot l\\
&x=\rho_s-\rho\cos\delta\\
&y=\rho\sin\delta\\
&m=1\\
&n=\frac{\alpha(C-S_m)}{r}\\
&p=\frac{\alpha(C-S_m)}{r}\\
&\sin\frac{\omega}{2}=\left|\frac{n-1}{n+1}\right|
\end{aligned}\right\} \tag{4-25}$$

式中：$S_m=\int_0^B M\mathrm{d}B$，即纬度从 0°到 B 的椭球面上经线弧长。

等距离圆锥投影的变形大小介于等角投影与等面积投影之间，除沿经线长度比保持为 1 以外，沿纬线方向长度比与面积比相等。

在等面积和等距离圆锥投影中，同样有两个常数 α、C 待定，其方法类似于等角圆锥投影中常数 α、C 的确定。

等面积和等距离圆锥投影主要应用于区域地图。例如，1∶600 万《中国全图》、1∶400 万《中国地势图》采用的是等面积圆锥投影；而 1∶250 万《苏联全图》采用的是等距离圆锥投影。

第四节　高斯-克吕格投影及其应用

一、高斯-克吕格投影的概念和公式

高斯-克吕格（Gauss-Krüger）投影也称等角横切椭圆柱投影。该投影是设想一个椭圆柱横切于地球椭球某一经线（称中央经线），根据等角条件，用数学分析方法将地球椭球面上的经纬线投影到椭圆柱面上，展开后得到的一种投影（图 4.22）。

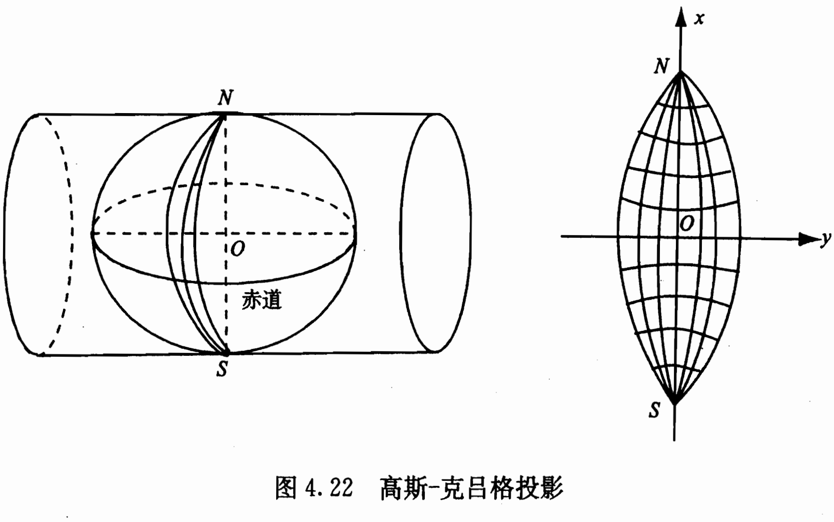


图 4.22　高斯-克吕格投影

该投影最初是由高斯拟定的，后经克吕格补充、完善，故名高斯-克吕格投影。高斯-克吕格投影是沿经线分带的一种等角投影，其投影条件是：中央经线和赤道投影为平面直角坐标的 x、y 轴；投影后无角度变形；中央经线投影后保持长度不变。根据这些条件，得到高斯-克吕格投影坐标公式为

$$\left.\begin{aligned} x &= S+\frac{1}{2}Nt\cos^2Bl^2+\frac{1}{24}Nt(5-t^2+9\eta^2+4\eta^4)\cos^4Bl^4 \\ &\quad +\frac{1}{720}Nt(61-58t^2+t^4+270\eta^2-330t^2\eta^2)\cos^6Bl^6+\cdots \\ y &= N\cos Bl+\frac{1}{6}N(1-t^2+\eta^2)\cos^3Bl^3+\frac{1}{120}N(5-18t^2+t^4 \\ &\quad +14\eta^2-58t^2\eta^2)\cos^5Bl^5+\cdots \end{aligned}\right\} \tag{4-26}$$

式中：S 为由赤道至纬度 B 的经线弧长；N 为椭球面上卯酉圈曲率半径；$\eta=e'\cos B$，$t=\tan B$，e'为椭球体第二偏心率。

在高斯-克吕格投影中，任意点的长度比与方向无关，其长度比公式为

$$\mu=1+\frac{1}{2}l^2\cos^2B(1+\eta^2)+\cdots \tag{4-27}$$

表 4.6 说明，高斯-克吕格投影变形均为正向。中央经线投影后不变形。在同一纬线上，长度比随经差增大而增大；在同一经线上，长度比随着纬度减小而增大，赤道处为最大。长度比主要取决于经差。高斯-克吕格投影的等变形线是近似平行于中央经线的直线。

表 4.6　高斯-克吕格投影长度比

B \ l	0°	1°	2°	3°
90°	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
80°	1.00000	1.00000	1.00002	1.00004
70°	1.00000	1.00002	1.00007	1.00016
60°	1.00000	1.00004	1.00015	1.00034
50°	1.00000	1.00006	1.00025	1.00057
40°	1.00000	1.00009	1.00036	1.00081
30°	1.00000	1.00012	1.00046	1.00103
20°	1.00000	1.00013	1.00054	1.00121
10°	1.00000	1.00014	1.00059	1.00134
0°	1.00000	1.00015	1.00061	1.00138

在高斯-克吕格投影面上，过 P 点的经线 PN 与过该点的纵坐标线 PG 间的夹角 γ，称为 P 点的平面子午线收敛角（图 4.23）。

子午线收敛角计算公式为

$$\gamma=l\sin B+\cdots \tag{4-28}$$

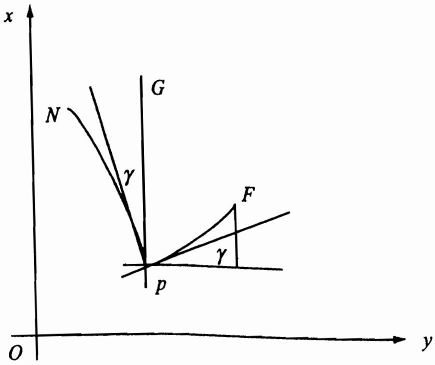


图 4.23 子午线收敛角

子午线收敛角随经差的增大而增大，随纬度的增高而增高，其值有正有负，即中央经线以东为正，称东偏；以西为负，称西偏。

二、高斯-克吕格投影在地形图中的应用规定

我国现行的大于 1∶50 万比例尺的各种地形图和协同图，都采用高斯-克吕格投影。

（一）分带规定

高斯-克吕格投影没有角度变形，但有长度变形，且为正。面积变形是长度变形的平方，影响变形的主要因素是经差 l。为了保证地形图应有的精度，就要限制经差，即限制高斯-克吕格投影的东西宽度。为此，将全球分为若干条带，每个条带单独按高斯-克吕格投影进行计算，采取分带投影法。

1. 6°分带

我国系列比例尺 1∶2.5 万～1∶50 万的地形图均采用 6°分带投影（图 4.24）。

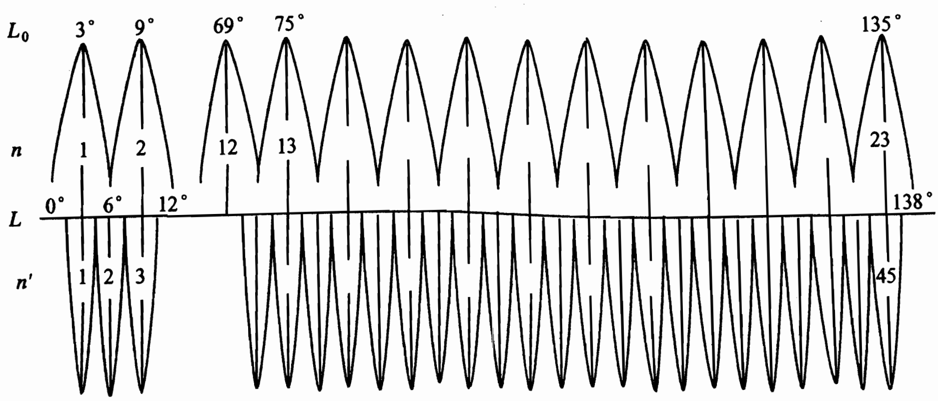


图 4.24 6°、3°分带

自零子午线起，从西向东每隔经差 6°为一个投影带，全球就被分成 60 个投影带。每带依次以自然数 1，2，3，…，60 编号，即从东经 0°～6°为第 1 带，中央经线经度为 3°；6°～12°为第 2 带，其中央经线经度为 9°；依次类推。各投影带的带号 n 与其中央经线经度 L_0 的关系式如下

$$L_0 = 6n - 3 \tag{4-29}$$

我国区域范围大约在东经 70°～135°之间，其 6°分带中央经线的经度依次为 75°，81°，87°，…，135°。

2. 3°分带

对于 1∶1 万及更大比例尺的地图，为进一步提高精度，采用 3°分带法，并规定 6°带的中央经线仍为 3°带的中央经线。从东经 1°30′起算，每隔 3°为一个投影带，即东经 1°30′～4°30′为第 1 带，其中央经线为 3°；4°30′～7°30′为第 2 带，其中央经线为 6°；依次类推，全球分为 120 个带。3°带的带号 n' 与其中央经线 L_0 的关系为

$$L_0 = 3n' \tag{4-30}$$

（二）坐标规定

高斯-克吕格投影是以中央经线的投影为纵轴 x，赤道投影为横轴 y，其交点为原点而建立平面直角坐标系的。因此，x 坐标在赤道以北为正，以南为负。y 坐标在中央经线以东为正，以西为负。我国位于北半球，故 x 坐标恒为正，但 y 坐标有正有负。为了使用坐标的方便，避免 y 坐标出现负值，规定将投影带的坐标纵轴西移 500km（图 4.25）。因此，移轴后的横坐标值应为

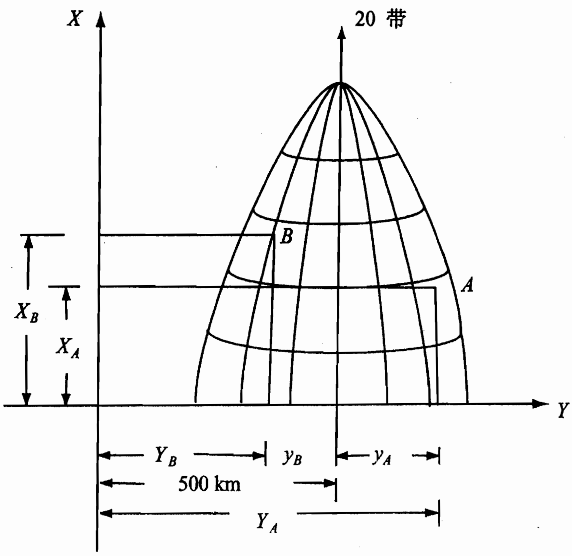


图 4.25　纵坐标轴西移

$$Y = y + 500000(\mathrm{m})$$

又由于是按经差 6°进行分带投影，各带内具有相同纬度和经差的点，其投影的坐标值 x、y 完全相同，这样对于一组（x，y）值，能找到 60 个对应点。为区别某点所属的投影带，规定在已加 500km 的 Y 值前面再冠以投影带号，构成通用坐标。

(三) 方里网和经纬线网规定

1. 方里网规定

大比例尺地形图在军事上是战术用图。为了便于在图上指示目标、量测距离和方位，规定在 1∶10000、1∶25000、1∶50000、1∶100000 和 1∶250000 比例尺地形图上，按一定的整公里数绘出平行于直角坐标轴的纵横网线，这些网线被称为方里网，也叫公里网（表 4.7）。

表 4.7　方里网间隔

地形图比例尺	方里网图上间隔/cm	相应实地距离/km
1∶10000	10	1
1∶25000	4	1
1∶50000	2	1
1∶100000	2	2
1∶250000	4	10

2. 经纬线网规定

经纬线网又称地理坐标网。现行图式规定，1∶10000、1∶25000、1∶50000和 1∶100000 地形图图幅内不绘经纬线网（绘有方里网）；1∶250000 和 1∶500000地形图，应在图幅内绘经纬线网（表 4.8）。

表 4.8　经纬线网间隔

地形图比例尺	图幅经差	图幅纬差	经纬线间隔
1∶250000	1°30′	1°	15′×10′
1∶500000	3°	2°	30′×20′

(四) 方里网重叠规定

由于高斯-克吕格投影应用于地形图中采用分带投影方法，各带具有独立的坐标系，所以，相邻图幅方里网是互不联系的。当处于相邻两带的相邻图幅沿经

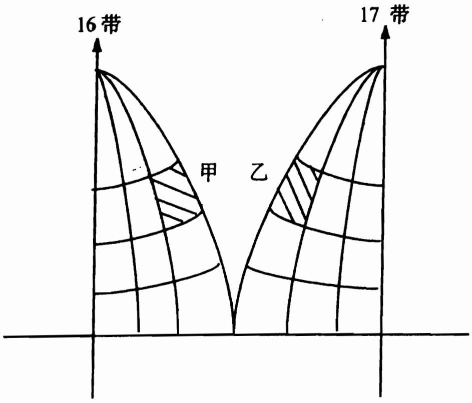


图 4.26　相邻带图幅拼接

线拼接使用时，两幅图上的方里网就不能统一相接（图 4.26），给使用带来困难。

为解决这一问题，规定在一定的范围内把邻带坐标延伸到本带图幅上，也就是在投影带边缘的图幅上加绘邻带的方里网。这样，在带边缘的图幅上，既有本带的方里网，也有邻带延伸过来的方里网（图 4.27），所以叫方里网重叠。

现行规范规定：每个投影带的西边缘经差 30′以内以及东边缘经差 7.5′(1∶25000)、15′（1∶50000）以内的各图幅，加绘邻带坐标网（图 4.28）。

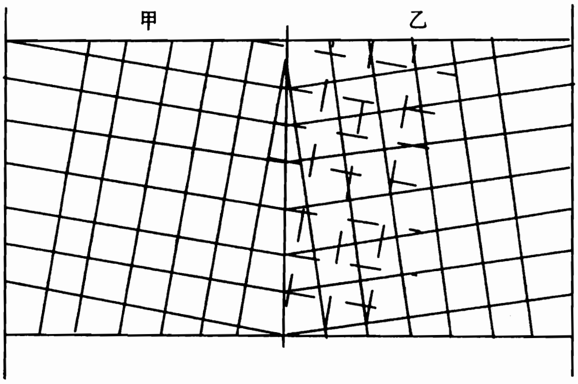


图 4.27　方里网重叠

（五）图廓点数的规定

在高斯-克吕格投影中，理论上只有中央经线和赤道投影成直线，其余经纬线均投影成曲线。但实际上，在一幅地形图范围内，经线曲率很小，不论在何种比例尺地形图中，经线均可当成直线。纬线则不能以直线来描绘，而以若干折线段来代替曲线段，我们称折线的顶点为图廓点。图幅的一条纬线需用几段折线来代替，也就需要若干个图廓点。根据传统的手工制图作业精度要求，规定曲线和用以代替它的直线（弦）间的最大距离（称为矢长）为 0.1mm 时，即可以用直代曲了。这样，既能保证制图精度，又使绘制方便。表 4.9 是不同比例尺地形图中一条图幅纬线的图廓点数的规定。

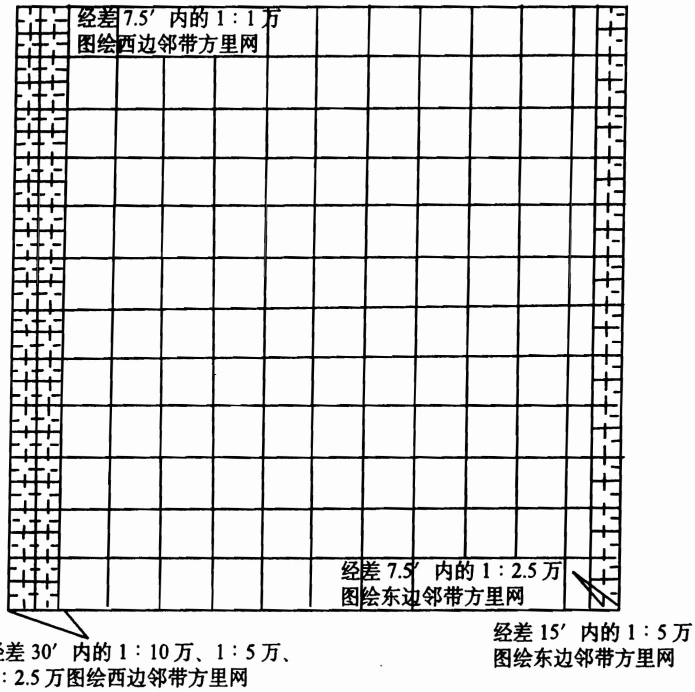


图 4.28　加绘邻带方里网的图幅范围

表 4.9　图廓点数规定

地形图比例尺	图幅范围		纬线最大矢长/mm	图廓点数
	经差	纬差		
1∶25000	7′30″	5′	0.08	2
1∶50000	15′	10′	0.15	2
1∶100000	30′	20′	0.31	3
1∶250000	1°30′	1°	1.08	7
1∶500000	3°	2°	2.19	7

目前，地图的生产方式已基本实现由手工模拟向数字化的转变。在全数字制图环境下，图廓点数的规定已无实际意义了。

三、通用横墨卡托投影（UTM）

高斯-克吕格投影亦称横墨卡托投影（transverse Mercator projection），简称 TM 投影。几何上可理解为等角横切椭圆柱投影。

通用横墨卡托投影（universal transverse Mercator projection），简称 UTM

投影，几何上理解为横轴等角割圆柱投影，投影后两条割线上没有变形，中央经线上长度比将小于 1（图 4.29）。

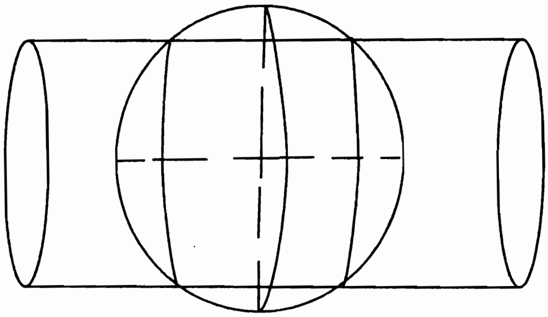


图 4.29　UTM 投影

UTM 投影与高斯-克吕格投影之间没有实质性的差别，其投影条件与高斯-克吕格投影相比，除中央经线长度比 m_0 为 0.9996 以外，其他条件相同。所以，UTM 投影的坐标、长度比均是高斯-克吕格投影坐标、长度比的 0.9996 倍。UTM 投影与高斯-克吕格投影具有相似关系。

UTM 投影改善了高斯-克吕格投影在低纬度地区的变形。世界上许多国家的地形图都采用 UTM 投影作数学基础。

第五章　地图数学基础设计和地图投影变换

第一节　地图投影的选择

一、影响地图投影选择的基本因素

地图上的经纬线网是构成地图数学基础的主要数学要素，而地图投影的基本任务就是研究如何将椭球面（或球面）上的经纬线网描写于地图平面上的理论和方法。所以制作地图的首要任务是选择好地图投影。地图投影的选择是地图编制工作中的一个重要环节，它不仅直接影响地图的精度和使用价值，而且影响到地图编制的工作效率。地图投影的选择受相互制约的多种因素的影响。

（一）地图的用途与使用特点

不同用途的地图，对地图投影有不同的要求。一般地说，考虑地图用途时，大多按变形性质选择投影。例如，军用地图，要求方位距离准确，在一定区域内点与点之间的关系没有角度变形，保持图形与实地相似，通常采用等角投影；民用地图，要求局部面积或各要素轮廓面积有正确的对比关系，一般采用等面积投影；教学用地图，为了给学生以同等重要的要素和完整的地理概念，常采用各种变形都不大的任意性质投影；国家系列比例尺地形图，由于其通用性，一般都采用等角投影，多数国家为高斯-克吕格投影或通用横墨卡托投影，少数国家为兰勃脱（Lambert）投影和其他种类的等角性质的投影；航空图系列中，1∶100 万航空图要求在一幅或两幅拼接的图幅内，两点间的大圆航线投影后应近似直线，各个国家都采用改良多圆锥投影或等角圆锥投影；基地半径图，要求基地中心至各方向的方位和距离正确，采用了等距离斜方位投影；世界时区图，为了便于划分时区，习惯用经纬线投影后互相成垂直平行直线的等角正轴圆柱投影等。

使用地图的方法对投影选择的影响，是指图上量算或估算的精度要求。如桌上用图要求有较高的精度，相对来说，挂图要求的精度要低一些。所以，对高精度量测的地图，要求投影的长度和面积变形在±0.5%、角度变形在 0.5°以内；中等精度量测的地图，要求投影的长度和面积变形在±3%，角度变形小于 3°；近似量测或目估测定的地图，投影的长度变形和面积变形在±5%、角度变形在 5°以内；不作量测用的地图，只需保持视觉上的相对正确即可。如果选择的投影中，几种投影都符合变形限度的要求，则应从中选择最简便且有利于编图资料转

绘，便于图上作业的一种投影。当然，采用计算机辅助建立地图投影时，由于数据库中的投影图形可以任意变换，将计算简便作为考虑的因素，也就不必要了。

地图集、系列图和图组形式的地图投影选择，应考虑图幅间内在联系和统一协调，使之具有系统性，便于比较。

（二）制图区域的空间特征

制图区域的空间特征，是指它的形状、大小和在地球椭球体上的位置。依据制图区域的形状和位置选择投影，大多按经纬线形状的分类来决定采用哪一类投影，使投影的等变形线基本上符合制图区域的轮廓，以减少图上的变形。如区域形状接近圆形的区域，在两极地区宜采用正轴方位投影，在中纬度地区宜采用斜轴方位投影，在赤道附近地区宜采用横轴方位投影，因为这些投影的等变形线与围绕投影中心的等高圈一致；沿纬线东西方向延伸的横长形地区，在中纬度地区宜选用正轴圆锥投影，在低纬度地区多采用正轴圆柱投影，因为它们的等变形线形状与纬线一致，东西任意延伸变形也不会增大；沿经线南北向延伸的竖长形地区，一般可采用横轴圆柱投影或正轴多圆锥投影，前者是因为等变形线与子午线方向一致，后者则由于在中央经线两侧变形较小；沿任意斜方向延伸的长形地区，多采用斜轴圆柱投影或斜圆锥投影，这样亦可使投影变形较小且分布比较均匀。以上是就大面积区域小比例尺地图而言的。

一般来说，制图区域愈大，投影选择愈复杂，需要考虑的投影种类愈多，并且需联系其他方面的要求，综合考虑方能作出决定；制图区域愈小，选择投影就只考虑它的几何因素了，此时选择何种投影方案，其变形都是很小的。所以，投影选择问题，实际上是设计编制大区域小比例尺地图的任务。

制图区域的空间特征对选择地图投影的影响，是就主区范围而言的，不同的主区范围其形状、大小和位置有所不同，投影选择也就有所差别。比如，设计中国全图时，若南海诸岛作为附图，可选择等角正圆锥投影或等面积正圆锥投影；若南海诸岛不作附图，这样主区范围变了，则应改为选择等角斜方位投影、等面积斜方位投影、伪方位投影、等面积伪圆锥投影（彭纳投影）等。如果邻区表示的详细程度同主区一致，这也会影响到制图区域的范围，在选择投影时就要对邻区给予应有的考虑了。若制图区域的某局部区域因用途需要，形成重要性的差别，选择投影时通常把变形最小的部位，尽可能放在图幅的最重要的部分。

（三）地图对投影的特殊要求

设计的地图中，有些地图对投影有特殊要求，它会使投影选择限制在某些投影的范围内。例如，在经纬线形状方面，教学地图中的世界全图或半球地图，一般要求经纬线对称于赤道，极地投影成点状，表现出球状概念，这可从伪圆柱投

影或正轴（横轴）方位投影方案中去选择；如果选择任意伪圆柱投影或横轴等积方位投影，这些投影虽然球形视觉比较好，但变形分布不均匀，有的部位变形会很大；如果把极地投影成一条直线或曲线，则有许多多圆锥投影方案可供选择，比如等差分纬线多圆锥投影，这种投影虽两极附近变形大了，但整个制图区域的变形分布均匀；大区域的透视鸟瞰图，因要求在球体形状的经纬线网格上，显示出球形地面的一部分，选择了斜轴方位投影；编制世界时区图时，为了清楚地表达时间的地带性，就选择投影后经纬线网成正交平行直线的等角圆柱投影。

地图上的某些特殊线段投影后的形状，也常成为选择投影的因素之一。例如，航空图上，要求把地面上距离最近的大圆航线投影成直线，以方便空中领航，就要选择改良多圆锥投影或等角正圆锥投影等；航海图上，要求投影后等角航线表象为直线，便于航迹绘算，世界各国都普遍选用墨卡托投影。

某些专用地图的特殊需要，使得现有的投影都不能满足要求，必须重新设计和探求能满足特殊要求的地图投影。例如，为解决卫星图像投影问题，开辟了空间投影领域；为满足专用地图在一个投影平面上，投影比例尺发生显著变化的要求，设计了变比例尺地图投影和多焦点地图投影；为在图上突出重点地区，而以其周围地区作为陪衬，设计出组合方位投影；若要在图上保持两个定点到任何点的方位角和距离正确，则设计双方位投影和双等距离投影，可以解决军事上测向、测距定位及导航等方面的问题。

二、地图投影选择与建立的基本方法

并不是所有的新设计地图都需要选择投影，例如区域性分幅图中的地形图，各国都预先严格地确定了投影，并准备了全套的坐标数据。因此，地图的投影选择问题，实际上是对区域性小比例尺地图而言的。

区域地图是一种大区域的普通地图，有按经纬线分幅的区域性分幅图和完整地反映全区地理形势，综览全局的区域性全图之分。区域地图的区域范围大小差别悬殊，可从经纬差几度到几十度不等，所以地图比例尺也就多种多样。

如果制图区域范围的经纬差在12°以内，所有投影的变形差别实际上可以忽略不计，选择什么样的投影都是可以的。

对于区域范围较大的地图，由于不同投影所产生的变形差别很大，这就需要认真地综合考虑各种要求，选择或者设计出比较满意的地图投影。

对于大区域小比例尺挂图来说，由于不会在图上进行量测，精度的要求还可降低，即便是制图区域的经纬差达到23°左右，只要长度和面积变形不超过±3%，角度变形不超过3°，是不会影响使用的。所以对不大的制图区域，没有必要过多地从投影变形大小去考虑，应多从制图区域的形状和地理位置、经纬线网的形状，以及使用资料情况等条件来考虑选择地图投影。

一般地说，对于不大的区域采用等角性质的投影为好，对于较大的区域，为使各种变形较为适中，选用等距离性质的投影或任意性质的投影为宜。

有时，设计的地图会遇到现有的投影都不能满足制图区域和新设计地图的要求，这时就需要探求新的投影。

对于一项具体设计任务即进行地图投影的选择，其方法是：按照投影选择的一般原则，结合制图区域的空间特征和地图用途对投影的要求进行分析，考虑了几种投影方案后，再对这些方案分别进行变形值的估算，因估算的精度不要求很高，可近似计算或从已有的变形表中查取，通过直观比较，哪种投影适应的因素多，重要性大，就选定为该地图的投影。

投影方案确定后，根据选择的投影确定公式的常数，运用它的公式依经纬线网间隔，计算投影的坐标值和变形值。

应当指出，并不是所有选择的地图投影都需要进行计算的，因为已经出版有多种地图投影坐标集可以利用。例如，大比例尺地形图可以在《高斯-克吕格坐标表》中查得坐标、子午线收敛角和图廓边长等数据；小比例尺区域地图的投影，可以在《小比例尺地图投影集》、《1∶100 万地图投影坐标表》、《区域地图投影用表集》中进行选择，如果所选择的地图投影是上述投影用表集中的投影方案，就可以不必计算，直接从相应的投影坐标表中查取坐标的参考值，再依设计地图的比例尺进行简单的换算，便得到投影的坐标和变形值。

目前，随着计算机和自动制图系统在地图生产中的应用，地图生产方式已经实现由手工模拟向数字化、自动化方向转变，地图数学基础建立也已改变了传统的手工计算和展绘经纬线网的方法，实现了计算机自动建立地图数学基础和地图内容的自动转绘。

第二节　地图定向与地图比例尺

一、地图定向

所谓地图定向，就是确定地图上图形的地理方向，它与地图上的地理坐标网对于图廓的位置有着不可分割的联系。在小比例尺地图上，图上经线方向是地图定向的基础，因为它是指向“真北”的。据此，可以将地图定向分为“北方定向”和“斜方位定向”两种。地图上的某条经线同图纸的南北方向保持一致的，称为“北方定向”；不一致的，称为“斜方位定向”。

这里主要介绍地形图的定向和小比例尺地图的定向。

（一）地形图的定向

我国地形图都是“北方定向”的，即图幅中间的一条经线同图纸的南北方向

是严格一致的，因此地图的正上方就是北方。为了满足使用地图的要求，规定在大于1∶10万的各种比例尺地形图上绘出三北方向和三个偏角的图形。它们不仅便于确定图形在图纸上的方位，同时还用于在实地使用罗盘标定地图的方位。

1）真北方向线。过地面上任意一点，指向北极的方向，叫真北，其方向线称真北方向线或真子午线。地形图上的东西内图廓线即为真子午线，其北方方向代表真北。对一幅图而言，通常是把图幅的中央经线的北方方向作为该图幅的真北方向。

2）坐标北方向线。图上方里网的纵线叫坐标纵线，它们平行于投影带的中央经线（投影带的平面直角坐标系统的纵坐标轴），纵坐标值递增的方向称为坐标北方向。大多数地图投影的坐标北和真北方向是不完全一致的。

3）磁北方向线。实地上磁北针所指的方向叫磁北方向。它与指向北极的北方向并不一致，磁偏角相等的各点连线就是磁子午线，它们收敛于地球的磁极。严格说来，实地上每个点的磁北方向也是不一致的。地图上表示的磁北方向是本图幅范围内实地上若干点测量的平均值，地形图上用南北图廓点的 P 和 P' 的连线表示该图幅的磁子午线，其上方即为该图幅的磁北方向。

我国大于1∶10万比例尺的地形图上，南图廓外附有偏角图。图形只表示三北方向的位置关系，其张角不是按角度的真值绘出的，角度的实际值通过注记表明（见图1.6）。

（二）小比例尺地图的定向

在一般情况下，小比例尺地图也尽可能地采用“北方定向”（图5.1），即使图幅的中央经线同南北图廓垂直。但是，有时制图区域的情况比较特殊（例如我国的甘肃省），用北方定向不利于有效地利用标准纸张和印刷机的版面，也可以考虑采用“斜方位定向”（图5.2）。

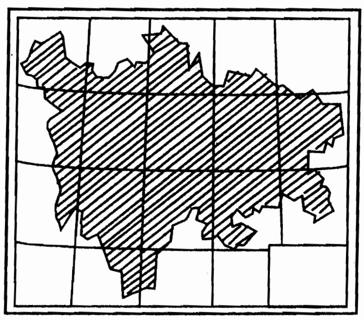


图5.1　北方定向

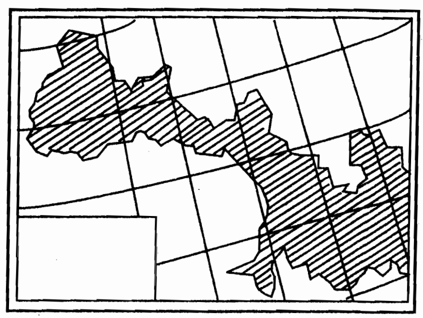


图5.2　斜方位定向

在极个别的情况下，为了更有利于表示地图的内容（例如用鸟瞰的方法表达位于坡向面朝北的制图区域），甚至也可以采用南方定向。

二、地图比例尺形式

地图的比例尺是地图上主要的数学要素之一，它决定着实地的轮廓转变为制图表象的缩小程度。

地图上某线段的长度与椭球面上相应线段的平面投影长度之比，称为地图的比例尺，用下式表示为

$$\frac{1}{M}=\frac{l}{L} \tag{5-1}$$

式中：M 为地图比例尺的分母；l 为地图上线段的长度；L 为实地上相应线段的水平长度。

（一）地图比例尺形式

地图上表示的比例尺有以下几种形式。

1. 数字式

用阿拉伯数字表示。例如 1∶100000（或简写作 1∶10 万），也可用分数式 $\frac{1}{100000}$ 表示。

2. 文字式

用文字注解的方法表示。例如“百万分之一”（或简称百万分一），“图上 1cm 相当于实地 10km”等。

表达比例尺的长度单位，在地图上通常以 cm 计，在实地上以 m 或 km 计。例如，常常用“图上 1cm 相当于实地××m（或 km）”来表示比例尺。涉及航海方面的地图，实地距离则常常以 n mile（海里）计。

3. 图解式

用图形加注记的形式表示的比例尺。例如，地形图上通常采用直线比例尺（见图 1.3）。

小比例尺地图上，由于投影变形比较复杂，往往根据不同经纬度的不同变形，绘制一种复式比例尺，又称经纬线比例尺或诺谟图，用于不同地区长度的量算。图 1.4 是变形随纬度不同而变化的纬线比例尺。

地图上通常采用几种形式配合来表示比例尺的概念，最常见的是数字式和图解式的配合使用。

（二）地图比例尺系统

各个国家的地图比例尺系统不尽相同。

我国采用十进位的米制长度单位，规定 7 种比例尺为国家基本地图的比例尺系列（表 5.1）。

表 5.1　国家基本地图的比例尺系列

数字比例尺	文字比例尺（地图名称）	图上 1cm 相当于实地 km 数	实地 1km 相当于图上 cm 数
1∶10000	一万分之一	0.1	10
1∶25000	二万五千分之一	0.25	4
1∶50000	五万分之一	0.5	2
1∶100000	十万分之一	1	1
1∶250000	二十五万分之一	2.5	0.4
1∶500000	五十万分之一	5	0.2
1∶1000000	百万分之一	10	0.1

许多国家过去不采用十进位的米制，而采用英制，比例尺系统也不尽相同，按米制换算起来比较麻烦（表 5.2）。现在各个国家趋向采用米制，比例尺系统也趋向统一，如 1∶5 万、1∶25 万、1∶100 万等。

表 5.2　其他一些国家比例尺系列

数字比例尺	地形图名称	图上 1 英寸相应于实地距离	实地 1 英里相应于图上长度
1∶10560	六英寸地图	1/6 英里	6 英寸
1∶63360	一英寸地图	1 英里	1 英寸
1∶126720	半英寸地图	2 英里	1/2 英寸
1∶253440	1/4 英寸地图	4 英里	1/4 英寸
1∶633600	十英里地图	10 英里	1/10 英寸

小比例尺地图没有固定的比例尺系统。根据地图的用途、制图区域的大小和形状、纸张和印刷机的规格等条件，在设计地图时确定其比例尺。但是，在长期的制图实践中，小比例尺地图也逐渐形成约定的比例尺系列。例如，从已出版的大量地图来看，多出现下列较为完整的数字比例尺：1∶100 万、1∶150 万、1∶200 万、1∶250 万、1∶300 万、1∶400 万、1∶500 万、1∶600 万、1∶750 万、1∶1000 万等。

第三节　我国编制地图常用的地图投影

一、世界地图的常用投影

我国编制世界地图采用的投影，按大类分主要有多圆锥投影、圆柱投影和伪圆柱投影。

1. 多圆锥投影

多圆锥投影是假设有许多圆锥与地球面纬线相切，然后按一定的投影条件将地球面上的经纬线网投影于多圆锥面上，并将其展开在一个平面上而形成。

目前使用的投影方案有等差分纬线多圆锥投影（1963 年）和正切差分纬线多圆锥投影（1976 年方案）。

2. 圆柱投影

等角正割圆柱投影，即墨卡托投影。

3. 伪圆柱投影

伪圆柱投影，是在圆柱投影基础上，定义纬线投影为一组平行直线，其间隔随纬度而变化；中央经线投影后为垂直于纬线的直线，其他经线在一般情况下投影为对称中央经线的曲线。按性质分，伪圆柱投影有等面积和任意两种，常用等面积伪圆柱投影，例如：

1）桑生（Sanson）投影。

2）爱凯特（Eckert）投影。

3）摩尔魏特（Mollweide）投影。

4）古德-摩尔魏特（Goode-Mollweide）分瓣投影。

5）哈墨-爱托夫（Hammer-Aitoff）投影。

二、各大洲地图的常用投影

1. 亚洲地图

1）等面积斜方位投影（投影中心：40°N，90°E 或 40°N，85°E）。

2）等距离斜方位投影（投影中心：40°N，90°E）。

3）彭纳投影（等面积伪圆锥投影。标准纬线：40°N，中央经线 80°E）。

2. 欧洲地图

1）等面积斜方位投影（投影中心：54°N，20°E）。

2）等角圆锥投影（标准纬线：40°N，66°N）。

3）等距离圆锥投影（标准纬线：40°N，66°N）。

3. 北美洲地图

1）等面积斜方位投影（投影中心：45°N，100°W）。

2）等距离斜方位投影（投影中心：45°N，100°W）。

3）彭纳投影（等面积伪圆锥投影。标准纬线：45°N，中央经线 100°W）。

4. 南美洲地图

等面积斜方位投影（投影中心：5°S，70°W）。

5. 非洲地图

等面积斜方位投影（投影中心：0°，20°E）。

6. 大洋洲地图

等面积斜方位投影（投影中心：5°S，170°W）。

三、中国全图的常用投影

1）等角斜方位投影（投影中心：30°N，105°E）。

2）等面积斜方位投影（投影中心：30°N，105°E）。

3）等距离斜方位投影（投影中心：30°N，105°E）。

4）伪方位投影。在球面坐标系中，伪方位投影的等高圈投影为同心圆，垂直圈投影为对称于中央经线的曲线，并交于圆心。伪方位投影的等变形线形状有多种，中国全图常用的是等变形线为三瓣形的伪方位投影，投影中心为 30°N，105°E 。

5）正圆锥投影。在南海诸岛作插图处理时，常用等角正割圆锥投影或等面积正割圆锥投影，曾采用的标准纬线分别为 24°N，47°N 或 25°N，47°N 。

四、中国分省（区）地图的常用投影

我国分省（区）地图基本采用等角正割圆锥投影。在编制一省（区）或几省（区）单幅地图时，可单独选择标准纬线；在编制地图集时，大区选择统一的标准纬线，分省不再另行投影，便于区内图幅数学基础统一和可比。

分省（区）地图也可采用宽带高斯-克吕格投影。南海海域单独编制地图时，可使用正圆柱投影。

五、中国海区图的常用投影

1）等角正圆柱投影（标准纬线±30°）。

2）等角斜圆柱投影（双重投影）。

六、各大洋图的常用投影

1. 太平洋和印度洋地图

乌尔马耶夫（Урмаев）等面积伪圆柱投影。

2. **大西洋地图**

伪方位投影（等变形线为椭圆形，投影中心为 25°N，30°W）。

七、半球及南、北极区图的常用投影

1. **东半球图**

1）等角横方位投影（投影中心：0°，70°E）。

2）等面积横方位投影（投影中心：0°，70°E）。

2. **西半球图**

1）等角横方位投影（投影中心：0°，110°W）。

2）等面积横方位投影（投影中心：0°，110°W）。

3. **南北极区图**

1）等角正方位投影。

2）等面积正方位投影。

3）等距离正方位投影。

第四节　地图投影变换

地图投影变换（map projection transformation）是近 20 年来随着计算机技术的发展而发展起来的地图投影学的一个新的研究领域。

在传统的手工模拟制图作业中，对制图资料的需求比较单一，只包括相应比例尺的纸质地图、控制测量成果及其他文献档案等等，且都是模拟资料。为了将基本制图资料转绘到新编图的经纬网中，通常用照相拼贴法、网格转绘法或纠正仪转绘法等实现地图投影的变换。这种变换的难易程度、点位精度与两种投影之间的差异程度密切相关，在两种投影差异较大时，这种变换简直是不可能，且精度无法保证。

地图生产走上全数字化成图的发展道路后，伴随着现代测量技术的发展，制图资料的保障、需求和使用方式都发生了重大变化，制图资料呈现出多样性和复杂性，模拟资料基本被数据资料所代替，因此，必须提供不同数据源的投影坐标到新编图投影坐标之间的相互关系，才能利用数据资料。在这种情况下，地图投影变换理论和方法的研究显得日益重要和迫切。

此外，GIS 开发、地形环境仿真、卫星遥感图像应用处理、地图数据库建设、空间信息高速公路乃至数字地球建立等，也对地图投影变换的理论和方法提出了新的要求。

为适应现代信息科学的发展，地图投影变换已逐步发展成为研究空间数据处理，以及空间点位和平面点位间变换的理论和方法及其应用的数学制图学的一个

分支学科。

地图投影变换，广义地理解为研究空间数据处理、变换及应用的理论和方法，即

$$(x_i', y_i', z_i', t_i) \Leftrightarrow (\varphi_i, \lambda_i) \Leftrightarrow (x_i, y_i) \Leftrightarrow (X, Y) \tag{5-2}$$

地图投影变换，狭义理解为建立两个平面场之间点的一一对应函数关系。地图投影变换方程为

$$X = F_1(x, y), \quad Y = F_2(x, y) \tag{5-3}$$

实现由一种地图投影点的坐标变换为另一种地图投影点的坐标，通常有解析变换法、数值变换法等。

一、解析变换法

解析变换法是求出两投影间坐标变换的解析计算公式，有反解变换法和正解变换法。

（一）反解变换法

反解变换法是通过中间过渡的方法，反解出原地图投影点的地理坐标（φ，λ），代入新编地图投影公式求得其坐标，即

$$(x, y) \rightarrow (\varphi, \lambda) \rightarrow (X, Y) \tag{5-4}$$

或
$$(x, y) \rightarrow (\rho, \delta) \rightarrow (\varphi, \lambda) \rightarrow (X, Y) \tag{5-5}$$

或
$$(x, y) \rightarrow (\rho, \delta) \rightarrow (Z, a) \rightarrow (\varphi, \lambda) \rightarrow (Z', a') \rightarrow (X, Y) \tag{5-6}$$

以等角斜方位投影的反解变换为例，根据等角斜方位投影坐标公式

$$\left.\begin{aligned} \rho &= 2R\tan\frac{Z}{2} \\ \delta &= \alpha \\ x &= \rho\cos\delta \\ y &= \rho\sin\delta \end{aligned}\right\} \tag{5-7}$$

由（5-7）式得到

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \delta = \arctan\frac{y}{x} \tag{5-8}$$

于是有

$$Z = 2\arctan\left(\frac{\sqrt{x^2+y^2}}{2R}\right),\quad \alpha = \arctan\frac{y}{x} \tag{5-9}$$

根据球面坐标到地理坐标的变换公式

$$\left.\begin{aligned} \sin\varphi &= \sin\varphi_0\cos Z + \cos\varphi_0\sin Z\cos\alpha \\ \tan(\lambda-\lambda_0) &= \frac{\sin Z\sin\alpha}{\cos\varphi_0\cos Z - \sin\varphi_0\sin Z\cos\alpha} \end{aligned}\right\} \tag{5-10}$$

即可由（Z，α）求得地理坐标（φ，λ），代入新的投影公式便可实现两个投影之间的坐标变换。

（二）正解变换法

正解变换法不要求反解出原地图投影点的地理坐标（φ，λ），而直接求出两种投影间点的直角坐标关系式，即

$$(x,y)\rightarrow(X,Y) \tag{5-11}$$

以墨卡托投影到等角圆锥投影的正解变换为例。已知墨卡托投影坐标公式为

$$x_M = r_0\ln U,\ y_M = r_0 l \tag{5-12}$$

等角圆锥投影坐标公式为

$$\left.\begin{aligned} \rho &= \frac{C}{U^\alpha} \\ \delta &= \alpha\cdot l \\ x_c &= \rho_s - \rho\cos\delta \\ y_c &= \rho\sin\delta \end{aligned}\right\} \tag{5-13}$$

由（5-12）式有

$$U = e^{\frac{x_M}{r_0}},\quad l = \frac{y_M}{r_0} \tag{5-14}$$

将（5-14）式代入（5-13）式，即得到墨卡托投影到等角圆锥投影的正解变换关系式为

$$\left.\begin{aligned} x_c &= \rho_s - \frac{C}{e^{\frac{\alpha\cdot x_M}{r_0}}}\cos\left(\frac{\alpha y_M}{r_0}\right) \\ y_c &= \frac{C}{e^{\frac{\alpha\cdot x_M}{r_0}}}\sin\left(\frac{\alpha y_M}{r_0}\right) \end{aligned}\right\} \tag{5-15}$$

二、数值变换法

在原投影解析式不知道，投影常数难以判定时，或不易求得两个投影间的解

析式的情况下，通常采用地图投影数值变换方法，其实质是利用两个投影平面间互相对应的若干离散点（亦称共同点）（x_i，y_i）和（X_i，Y_i），根据数值逼近的理论和方法来建立两个投影间的关系式，从而实现地图数学基础的变换。数值变换是地图投影变换的重要方法之一。

对于地图投影变换方程 $X=F_1$（x，y），$Y=F_2$（x，y），数值变换方法的一般提法是，给定了被逼近曲面或函数 $F=F$（x，y），或是给定了 F（x，y）的一组离散近似值 F_{ij}，构造一个比较简单的函数 f（x，y）去逼近函数 F（x，y）或离散近似值 F_{ij}，只要近似满足就行。

数值变换常用二元 n 次多项式为

$$f(x,y)=\sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n}d_{ij}x^iy^j \tag{5-16}$$

式中：f 代表 X、Y，d_{ij} 是多项式系数，$i+j\leqslant n$。

以二元三次多项式逼近为例。当 $n=3$ 时，二元三次多项式为

$$\left.\begin{aligned}X&=a_{00}+a_{10}x+a_{01}y+a_{20}x^2+a_{11}xy+a_{02}y^2\\&\quad+a_{30}x^3+a_{21}x^2y+a_{12}xy^2+a_{03}y^3\\Y&=b_{00}+b_{10}x+b_{01}y+b_{20}x^2+b_{11}xy+b_{02}y^2\\&\quad+b_{30}x^3+b_{21}x^2y+b_{12}xy^2+b_{03}y^3\end{aligned}\right\} \tag{5-17}$$

选取两个投影平面场 10 对共同点坐标（x_i，y_i）和（X_i，Y_i），代入（5-17）式，构建两个 10 阶线性方程组，求解方程组并得出系数 a_{ij}、b_{ij}。将系数 a_{ij}、b_{ij} 代入（5-17）式，即构成两个投影之间的数值变换方程式。

为了使两个投影之间在变换区域内实现最佳平方逼近，则可选取共同点数 $m>10$，根据最小二乘原理，组成最小二乘条件式

$$\left.\begin{aligned}\varepsilon_x&=\sum_{k=1}^{m}(X_k-X'_k)^2=\min\\\varepsilon_y&=\sum_{k=1}^{m}(Y_k-Y'_k)^2=\min\end{aligned}\right\} \tag{5-18}$$

根据极值原理，对（5-18）式分别令 $\dfrac{\partial\varepsilon_x}{\partial a_{ij}}=0$ 和 $\dfrac{\partial\varepsilon_y}{\partial b_{ij}}=0$，构建二组 N 阶线性方程组，并求解系数 a_{ij}，b_{ij}。

此外，数值变换常用多项式还有乘积型插值多项式，即

$$f(x,y)=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}d_{ij}\phi_i(x_s)\Psi_j(y_t) \tag{5-19}$$

式中：f 代表 X、Y，d_{ij} 是多项式系数，ϕ_i、Ψ_j 是基函数，$s=1$，2，…，n，$t=1$，2，…，m。

若选取基函数 $\phi_i(x)=\{1, x, x^2\}$，$\Psi_j(y)=\{1, y, y^2\}$，则得到常用的二元双二次多项式。

以上讨论同样适合下列形式的方程

$$\varphi=f_1(x,y), \lambda=f_2(x,y) \tag{5-20}$$

地图投影数值变换属二元函数的逼近范畴，面临一系列的理论与实际问题，其核心是数值变换的精度和稳定性。影响数值变换精度和稳定性的因素很多，而且这些因素互相关联，具有不确定性。其中，逼近多项式的构造及幂次、变换区域大小、共同点分布状况、线性方程组求解方法等是影响地图投影数值变换精度和稳定性的主要因素。

第三篇　地图内容要素表示方法

第六章　地图信息源及其处理

第一节　地图信息源

地图信息源很多，主要包括地图资料、GPS数据、控制测量成果、天文点成果表、航空像片和卫星遥感影像、测绘技术档案、地理调查资料以及地理文献、地图数据库或影像数据库、统计资料、野外测量数据等。其中最主要的是地图资料、影像资料、统计资料和文字资料。

一、地图资料（数据）

地图资料主要包括地形图和各种专题地图。

1. 地形图

地形图（或地形图矢量数据）是指比例尺为1∶1万、1∶2.5万、1∶5万、1∶10万、1∶25万、1∶50万和1∶100万系列比例尺地图。这种地图属于普通地图，它综合表示地面上各个要素的特征和空间分布特点。内容完备精度高，是新编地图质量的保障，一般用作编图的基本（底图）资料。

2. 各种专题地图

专题地图是指突出表示一种或几种专题要素内容的地图，对于它强调的“个性”特征表达的详细而真实，能满足各种专门用途的要求。可以作为编制同类专题地图的参考底图和编制普通地图时表达专题要素的依据。

二、影像资料（数据）

影像资料包括航空像片、卫星影像、地面实体纹理。影像资料用于直接测制大比例尺地图（一般指大于1∶10万地图）和各种比例尺地图的更新。

1. 航空像片

航空像片的比例尺都比较大，分辨率从几十米到几米的都有。一般用于制作各种城市规划图、城区图、土地利用图、重点经济和军事目标数据的获取、更新

等。但是航空像片由于是飞机拍摄，所以受到气候、飞机姿态等多种因素的影响，需要对其进行各种纠正处理。

2. 卫星影像

卫星影像相对于航空像片来说比例尺较小，分辨率从 100m 到 1m 甚至厘米级的都有。卫星影像都是通过遥感的方式获取的，速度快，覆盖面积大，不受气候的干扰。多用于快速获取、更新各种地图以及制作大区域影像地图。

3. 地面实体纹理

地面实体纹理是制作各种三维地图、专题地图等的重要资料。它可以是实物或照片，直接在地图上使用，也可以将地图纹理、影像纹理等贴在相应的地面物体上。

三、统计资料（数据）

统计资料是制作各种地图的重要数据源。编图时要收集制图内容所需的整个地区及各部分的同一时期的统一指标的最新资料数据和不同发展阶段的各种资料数据。统计资料一般存放于国家或各省、市、县等行政单位的统计部门，主要包括社会经济统计数据，人口统计（或普查）数据，工农商业产值数据，各种出口（进口）产品数量数据，环境污染监测数据，各种地球物理现象的观测值，海洋和陆地水文要素的观测数据等。

四、文字资料

与编图有关的各种专著、论文、调查报告、访问记录、地图生产技术档案、地理调查资料以及地理文献等，都可作为编图的文字资料。它是进行区域分析、资料选择和各要素内容分类分级的重要参考资料。通过文字资料，还可以用来研究各种制图资料的可靠程度和内容的完整性。尤其是对于编制专题地图，例如历史地图，文字说明是制图的主要依据。

第二节　地图资料（数据）处理

一、地图数据的构成

1. 空间数据

地图数据中的空间数据是用来描述地面物体或现象的空间位置、形状、大小的数据。空间数据在地图数据库中一般以点、线、面的方式存储。它可以是矢量数据也可以是栅格数据。

空间数据的一个重要特点是它还包含拓扑关系数据。即描述网格结构如交通

网、河网、境界线网，以及多边形结构如行政区划、地类区划中结点、弧段和面域之间的关联、邻接与包含等关系。拓扑关系从质的方面反映了地理实体之间的结构关系。

2. *属性数据*

属性数据又称为非空间数据。主要用来描述制图物体或现象的各种类别、等级等属性特征。例如用于区分不同要素像居民地、交通、水系等或区分同类要素不同等级或数量质量之间的差别像居民地中的街区式居民地与独立房屋、道路中的高速公路与普通公路等。属性数据在地图数据库中都是以属性编码的方式存在。

二、地图资料（数据）的整合

编图时所用到的地图资料很多，分类分级也很繁杂。因此，必须对所用的资料进行选择和整合处理。

（一）地图资料选择的要求

编图时一般根据下述几项要求，确定采用哪些资料。这些要求是：比例尺和投影适合新编图的要求；内容满足新编图的要求；资料现势性强；资料地理适应性好；资料精度可靠；资料使用方便。

上述各项要求落实在具体资料上往往出现矛盾。例如：一幅图内容较完整，但精度不高；另一幅图精度较高，但比例尺及现势性又不理想。如此等等，使得资料分析与选择工作复杂而难以掌握。在这种情况下，要求制图人员能灵活运用各种原则，抓住主要问题，做出正确的选择并合理地安排各种资料的利用程度和使用顺序。

（二）地图资料（数据）整合的内容

地图资料整合的内容主要包括：资料数据的裁切和拼接；地图投影、比例尺的转换；不同符号系统之间的转换处理；量度单位之间的转换处理；数据编码和格式的转换；数据的分类分级处理；资料图比例尺与新编图比例尺相差较大时标描处理；地图内容的更新和专题内容的转绘处理；等等。

（三）地图资料（数据）整合的方法

地图资料（数据）种类繁多，数据格式各异，存在多种比例尺、多种空间参考系和多种投影类型。这给地图编制带来了很大的困难，编图前必须对相应的资料（数据）进行处理。根据资料的不同，资料（数据）整合的方法也不同。主要有：

1. *标描方法*

当资料图内容复杂时，或者当资料图与新编图比例尺相差过大时，无法或很难直接缩编成最终比例尺地图时，就要对资料图进行过渡标描。

标描就是把要选取的内容在资料图上标绘出来（如水系、道路的分级）形成标描底图，方便数据的采集与编辑。即采用制图综合的方法，对内容要素先进行一次选取和化简处理，形成一个中间过渡底图。然后基于此底图，再制作新编地图。

2. *转绘方法*

当新编图需要增加或更新内容时，就需要将这些内容转绘在新编地图的底图上。

转绘是利用经纬线网，将资料图上的新内容转绘到地理底图上（基本资料），形成编绘底图或数字化底图；或者为了方便资料的参考，将多种资料的内容转绘在同一地理底图上，形成较为统一的资料参考图。

3. *扫描矢量化方法*

为了满足数字地图制图的要求，必须先将纸质地图扫描，然后利用相应的软件，获取地图矢量数据。

扫描是用扫描仪逐一对地理底图（地形图、大比例尺地图、编稿图（标描图）等）进行扫描，获得若干位图图像文件，并分别存储。

扫描矢量化是利用图像处理软件对扫描后的图像进行处理和图像拼接，生成数字栅格图像底图。再用扫描矢量化软件进行矢量化和数据采集与编辑，获得需要的地理底图的矢量数据。

4. *投影、坐标系、数据格式转换方法*

如果地理底图数据与各种专题信息投影、坐标系、数据格式等都存在差异，就必须对它们进行投影、坐标系、数据格式的转换。

数据格式转换，可利用多种图形图像处理软件，进行数据格式的转换；也可编程直接转换。

地图投影转换，可利用制图软件中的投影转换功能，将其转换为新编地图所需投影。

不同大地坐标系资料的处理，可利用制图软件进行投影坐标的转换、坐标平移、图幅拼接等方法。

5. *其他处理方法*

当有些地区没有实测地图资料时，允许图面上保持因资料不平衡造成的图形差别，不强求统一；还允许图面上出现空白过渡带，这一般指边界地区的地图。

当资料图为分幅地图时，可利用制图软件生成理论图廓和经纬线网；然后在图像处理软件中，将扫描图幅中分幅的部分，利用经纬线网将其纠正到新生成的

图幅中。

当资料图为合幅地图时（开天窗），可扫描要合幅的两幅图的底图，然后利用图像处理软件进行图像处理，将要拼接图幅的部分，拷贝到另一图幅的空白处。

三、地图资料（数据）的分类分级

（一）为什么要进行分类分级

分类分级是帮助人们揭示空间关系的一种方法。它的目的是为了便于描述和表示（包括语言表述和可视化）制图物体和现象，它的结果是将大量的个体（实体或现象）压缩成少量群类。虽然这样会损失细节，但通常都能作出实质性的解释，这是所有学科都在使用的有效手段。分类分级没有一成不变的固定模式，随着地图用途的不同，制图物体的分类分级会发生变化。

（二）地图资料（数据）的分类

编图时我们把地图资料分为两种：基本资料和补充资料。基本资料是作为编图基本依据的地图资料；补充资料是补充基本资料的不足，用来补充和修正某些内容的地图资料。

作为地图的基本资料，其内容应满足新编图的要求，资料图比例尺一般要大于新编图比例尺，资料图现势性强，精度满足新编图的要求，便于复制（常规制图）；作为地图的补充资料，其资料现势性要强、可靠程度要高、内容能够转绘到新编地图上。

（三）地图资料（数据）的分级

地图数据的分级是地图制图尤其是专题制图的主要方法。数据分级主要采用相应的数学模型来解决。分级数学模型主要解决分级数的确定和分级界限的确定，其中分级界线的确定是关键。

1. *分级数确定的原则*

确定分级的基本原则是：应考虑到用途和主题对数值估计精度的要求，区域分布特征被强调的程度，比例尺的影响，数据的可视化方法；应保持数据的客观规律；在满足精度要求的前提下，尽量减少分级数。

2. *分级界线确定的原则*

确定分级界限的基本原则是：级内的数据差异尽可能小，级间的差异尽可能大；级内必须有数据，一个数据只能出现在一个级别中；界线可以连续，也可以不连续，这取决于数据特征；尽可能采用规则变化的分级界线，以利于阅读和记

忆；分级界线应适当凑整。

3. 空间数据分级的方法

空间数据的分级的方法很多，主要包括等间隔分级、有系统的不等步度的分级、按某种变量系统确定分级间隔、用聚类分析方法进行分级等。具体分级方法在本书第十三章第二节中作简要介绍，详细内容可参阅《地图制图数据处理的模型方法》。

第三节　地图上地理内容要素的空间分布特征

地图内容要素按其空间分布特征可以分为四类，即呈点状分布的地图要素、呈线状分布的地图要素、呈面状分布的地图要素和呈体状分布的地图要素。

一、呈点状分布的地图要素

地面上真正呈点状分布的地物很少，一般都占有一定的范围，只是大小不同罢了。在地图上，点状要素，是指那些实地面积较小，不能依地图比例尺表示，又要按点定位的小面积地物（例如气象站、庙宇、圈形居民地等）和实际的点状地物（例如控制点等）。

点状地物的分布是多种多样的，大致可概括为三种：集群式分布；沿特定方向分布；散列式分布。集群式分布，是指点状地物集中分布于某一区域范围内，例如石灰岩地区的溶斗群、大规模冰川表面的冰塔群等；沿特定方向分布，是指沿某一线状地物分布，例如独立房屋沿河流、沟渠分布等；散列式分布，是指点状地物的分布没有明显的规律，例如各种独立地物的分布。

二、呈线状分布的地图要素

地面上呈线状分布的物体或现象很多，例如海岸线、河流、交通线、境界等。在地图上，线状要素，是指一种表达线状延伸分布的地物的图形符号。这些符号可以保持地物线状延伸的相似性，对其宽度往往都夸大表示。线状符号的中心线（轴线）代表线状地物的实际位置，线状符号的轮廓表示制图物体的空间位置，反映它们的类型特征，例如，根据海岸（湖岸）线的轮廓图形可以推断海岸的类型和成因，根据河流的轮廓图形可以推断河流的类型和发育阶段，根据道路的轮廓图形可以推断道路与地形的关系。线状符号的形状和颜色表示制图物体的质量特征，例如，黑白相间的线状符号表示铁路，红色实线表示公路，蓝色等粗的细实线表示岸线，蓝色由细到粗的渐变线表示河流。线状符号的宽度表示制图物体的数量或等级特征，例如主要和次要公路、不同行政等级的境界等。

三、呈面状分布的地图要素

地面上呈面状分布的地物很多，其分布状态各不相同。植被、湖泊、岛屿、居民地等是呈面状分布的制图物体，它们的分布是不连续的。在地图上，面状要素，是指一种能按地图比例尺表达地物轮廓形状的地物。通常这种地物的轮廓能按真形表达出来，并在其中填绘符号和注记，以说明其质量和数量特征。其中，范围固定的，用封闭实线表示；范围不固定的，用虚线表示。采用这种方法能使用图者直接从图上获得地物位置、轮廓形状、面积大小及质量和数量特征等方面的概念。

四、呈体状分布的地图要素

地面上呈体状分布的地物（现象）一般指地貌、海洋、大气等。这些要素在实地呈立体分布，是连续、布满整个区域的。但有些现象由于它们与体现象很相似，通常也归入呈体状分布的地图要素之列，例如温度、降雨量、生长季节、人口密度及疾病死亡率等。对于呈体状分布的地图要素或现象，在地图上是用二维的等高线、等深线、等降雨量线等线状符号或一些特殊的专题符号来表达的。

第四节　地图上地理要素变量的量表方法

一、量表方法的概念

对地理实体和现象进行定量或定性的描述，需要借助心理物理学中常用的量表方法。量表方法是一种测量的尺度，广义上来说，是一切定量（性）化表示的基本措施。在心理物理学中被广泛地用于定量描述感觉经验。可视化的基本目的是视觉传输，因此也广泛地运用量表技术。

二、量表方法的类型

量表方法有四种类型：定名量表、顺序量表、间距量表和比率量表。

（一）定名量表

定名量表（nominal scaling）是最简单的一种量表方法，用数字、字母、名称或任何记号对不同现象加以区分，实际上是一种定性的区分。在这一量表水平上，无法对两类现象之间进行任何数学处理，只能确认类别（如图 6.1）。

从图 6.1 中可以看出，定名量表的一个点、线或面，仅仅说明它是一个城市或者一个测量点，一条道路或一块树林，不能看出城市的大小、等级，也不能看

出道路或树林的等级、质量等信息。这就是定名量表的特点。它一般用于区划图或类型图上制图现象的分类表示，例如在我国行政区划图上，可以用定名量表的方法，分出河南省、河北省、山东省等等；在土地类型图上可以分出草地、耕地、林地等。

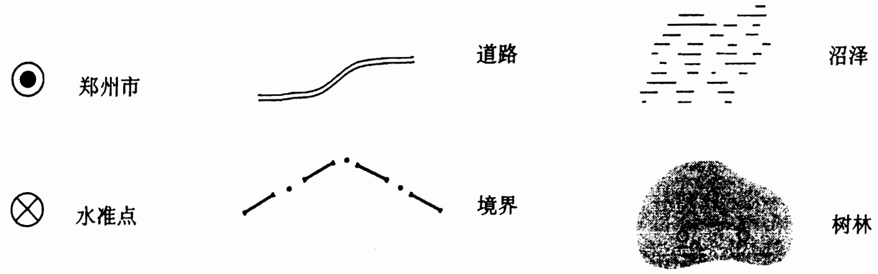


图 6.1　定名量表举例

（二）顺序量表

顺序量表（ordinal scaling）是把对象按某种标志的差别排出顺序，但既无单位也无起始点，只是一个相对次序。在这类量表水平上，只能区分出现象的大小、主次、前后等相对等级，既可定性也可定量地描述制图物体或现象（如图 6.2）。

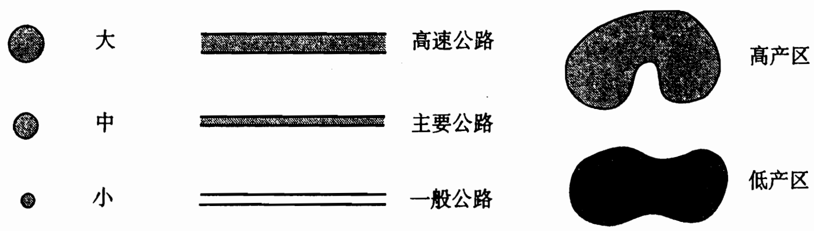


图 6.2　顺序量表举例

从图 6.2 中可以看出，顺序量表的一个点、线或面，不仅说明它是一个城市或者一个测量点，一条道路或一片粮食作物区，同时还能看出城市的大小、等级，以及道路或粮食作物区的高低等级信息。这就是顺序量表的特点。它一般用于地图上制图现象的分类分级表示，例如在我国交通图上，可以用顺序量表的方法，分出主要公路、一般公路；在粮食产量图上可以分出高产区和低产区，等等。

（三）间距量表

间距量表（interval scaling）不仅把对象按某一标志的差别排出顺序，而且要知道差别的大小。因此，在构成间距量表之前，要先提供测量的标准或确定单位（如图 6.3）。

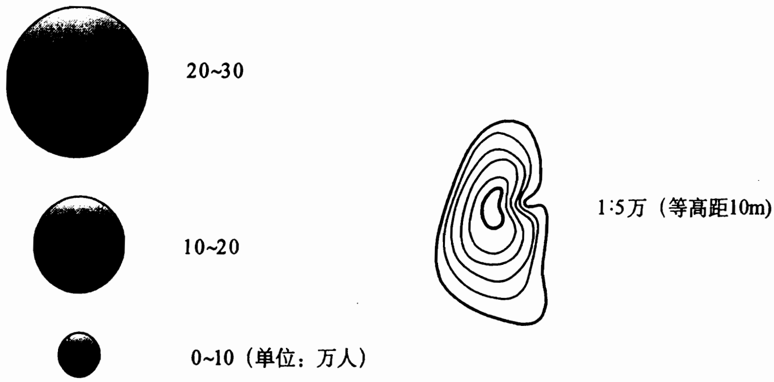


图 6.3　间距量表举例

从图 6.3 中可以看出，间距量表的一个点、线或面，不仅说明它是一个城市，而且还能表达出这个城市的大小、等级以及该城市与其他城市具体人口数的等级差别；不仅看出是一组等高线，而且通过等高距可以得到它们之间的高程差信息，这就是间距量表的特点。它一般用于地图上制图现象的分类、分级和数量差别的表示，例如在我国粮食产量分布图上，可以用间距量表的方法分出不同地区小麦、玉米或大豆的产量差别等。

（四）比率量表

比率量表（ratio scaling）不仅把对象按某一标志的差别排出顺序，知道其差别的大小，而且有原始零起点。因此，在构成比率量表时，要知道两个现象之间的差别及其比率（见图 6.4）。

从图 6.4 中可以看出，比率量表的一个点、线或面，不仅说明它是一个城市，而且还能表达出这个城市的大小、等级，该城市与其他城市具体人口数的等级差别以及具体的人口数量是多少；不仅看出是一组等高线，而且通过高度表可以得到它们之间的高低情况、高程差以及高程的具体数量值信息，这就是比率量表的特点。它一般用于地图上制图现象的分类、分级和具体数量的表示，例如，在我国地形图上，可以用比率量表的方法，分出不同地区（陆地与海洋）的具体高程，某个城市具体的人口数是多少等。

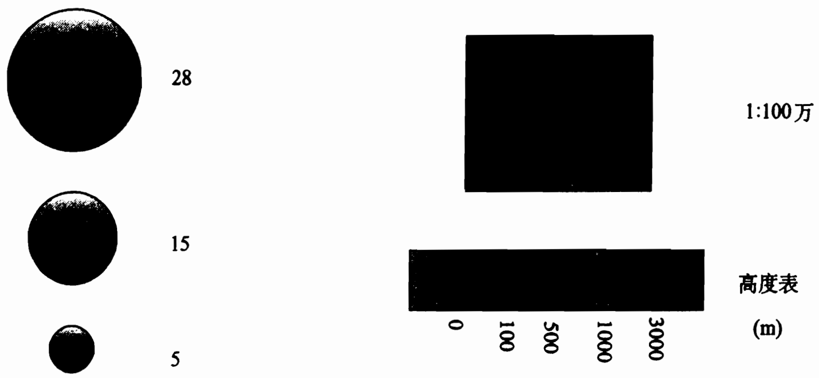


图 6.4　比率量表举例

第七章　地图符号设计

第一节　地图符号的基本概念与特性

我们所熟知的符号的种类很多，有语言的、文字的、数学的以及地图上的符号等。地图符号作为符号的一个子类，和语言一样具有语义、语法和语用规则。地图语言的语义就是地图上各种地图符号所代表的地图信息含义，即地图符号与所表示的客观对象之间的对应关系，通常通过地图的图例表现出来；地图语言的语法就是地图上各种地图符号之间的关系，即地图符号系统的特性和空间关系构成的规则；地图语言的语用就是地图符号系统的实用性，即地图符号与用图者之间的关系，保证地图语言能够快速、准确、方便地被用图者理解。地图符号与语言的区别在于，地图符号是空间信息的载体和传输工具，而语言是思维的工具。因此，从视觉上地图（传统地图）的空间是二维的，从听觉上语言的空间是一维的、线性的。作为符号，地图符号与其他符号的区别在于，它既能提供对象的信息，又能反应其空间结构，其主要特性是：

1. 地图符号是空间信息和视觉形象复合体

地图符号是一种专用的图解符号，它采用便于空间定位的形式来表示各种物体与现象的性质和相互关系。地图符号用于记录、转换和传递各种自然和社会现象的知识，在地图上形成客观实际的空间形象。因此，地图符号可以用来表示实际的和抽象的目标，并以可视的形象表现出来。

2. 地图符号有一定的约定性

地图符号本身可以说是一种物质的对象（图形），用它来代指抽象的概念，并且这种代指是以约定关系为基础的。这是地图符号的本质特点。地图符号化的过程就是建立地图符号与抽象概念之间的对应关系的过程，即约定过程。在约定过程中，可以选择不同的图形去代指一个抽象的概念。而当这种选择确定下来之后，这些图形就成了地图符号，因而具有法定性和规定性。例如，在一幅图内，一旦用三角形符号表示控制点，其他的内容就不能再采用三角形符号表示。

3. 地图符号可以等价变换

地图符号在知识概念的约定过程中，不同形式的符号存在等价关系，多个符号可以代指同一概念。例如，在不同的图幅中，用三角形、圆形、方形甚至文字等符号都可以作为等价符号表示一个城市。这是地图设计和地图符号设计中内在的本质规律。它使得地图设计者可以任意地根据制图对象的特征、地图用途、比

例尺、周围环境及设计者水平，设计出最佳的试样来，而这又是合理的。这样，我们就把符号自身的本性同符号的实际应用、把地图设计中的内部作用规律和外部作用规律区别开来了。

地图符号的特性，决定了我们可以将空间数据通过分类、分级、简化后，根据其基本的空间分布特征、相对重要性和相关位置，用地图符号表达出来，使空间数据成为视觉可见的图形。而在这当中，地图内容要素的空间分布特征与表达它的地图符号之间有着密切的关系。

第二节　地图符号的分类

一、按符号表示的制图对象的几何特征分类

地图上按符号表示的制图对象的几何特征，地图符号主要分为点状符号、线状符号和面状符号三类。

（一）点状符号

当一个地图符号所代表的概念在抽象的意义下可认为是定位于几何上的点时，则称为点状符号。这时，符号的大小与地图的比例尺无关，且具有定位特征，而且采用的图形符号都是具有定位点的个体图形符号，如图 7.1 所示。其中，图 7.1（a）显示的是普通地图上常见的点状符号，图 7.1（b）显示的是专



(a) 普通地图上的点状符号示例

点状符号	稀　土	玻璃砂	地下卤水
煤炭	铝土矿	珍珠岩	重晶石
铁	金刚石	大理石	溶剂石灰
金	长　石	彭润土	熔剂白云石
银	云　母	沸　石	耐火粘土
铜	石　棉	硫铁矿	萤　石
铅	石　墨	自然硫	石英砂岩
铅　锌	石膏	磷	建筑石料
钼	滑　石	化工灰岩	菱镁矿
锆英石	水泥灰岩	蛇纹岩	多金属

(b) 专题地图上的点状符号示例

图 7.1　地图上的点状符号

题地图上常见的点状符号。

点状符号的作用主要是说明物体的含义、位置及物体重要性。物体的含义，通过点状符号的形状或颜色的色相来表示；物体的位置，通过符号的定位点来表示；物体重要性等级或数量值，通过符号的尺寸来表示。

在普通地图上，点状符号的几何中心与地物实际位置是一致的，例如测量控制点、独立地物、不依比例尺的居民地符号和窑洞符号等；在专题地图上，点状符号的位置只要求合理，并不一定在数据的中心位置上，而且如果点状符号代表的是一个区域的数据，通常定位在这个区域的重心位置上。

（二）线状符号

当一个符号所代表的概念在抽象的意义下可认为是定位于几何上的线时，称为线状符号。这时符号沿着某一方向延伸且其长度与地图比例尺发生关系（图7.2），例如河流、沟渠、道路、等高线、等深线等符号。而有一些等值线符号，如等人口密度线、等气温线、等降雨量线等，尽管几何特征是线状的，但并不是线状符号。

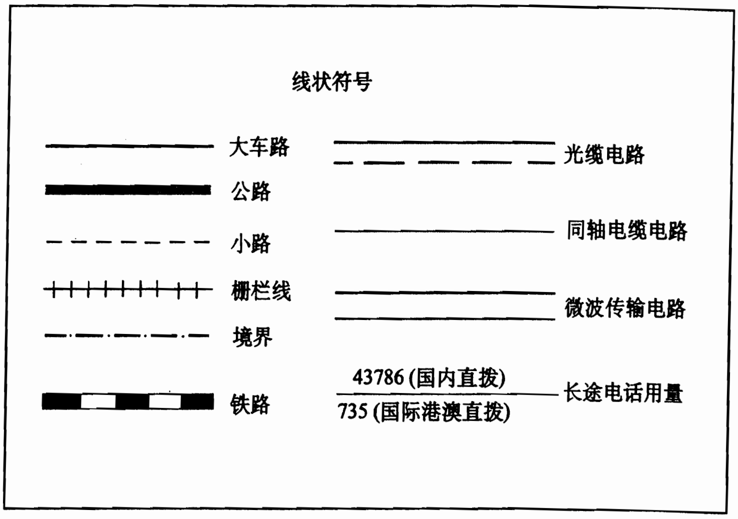


图7.2　地图上的线状符号示例

线状符号的作用主要是说明物体的类别、位置特征及物体等级。物体的类别，通过线状符号的形状或颜色的色相来表示；物体的位置，通过符号的中心线来表示；物体的等级，通过符号的尺寸（线的粗细）或颜色的亮度变化来表示。

在地图上，线状符号的几何中心与地物实际位置是一致的，例如道路、河流、境界等；在特殊的专题地图上，表示某些现象的动态的流动方向，而采用的特殊线状符号的位置只要求合理，并不一定在数据的中心位置上。例如在拓扑地图上，如图7.3（a）所示，表示巴黎地铁线路时，线状符号的中心线不是真正

的数据中心位置，而图 7.3（b）所示的线状符号才是线路的实际位置。

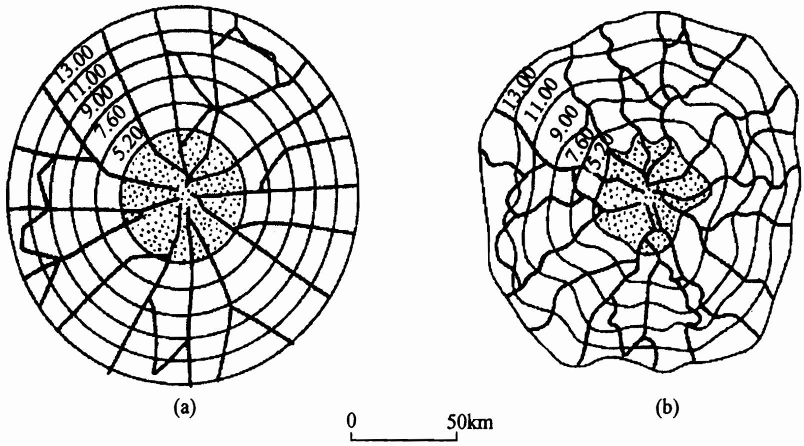


图 7.3　拓扑地图上的特殊线状符号

（三）面状符号

当一个地图符号所代表的概念在抽象的意义下可认为是定位于几何上的面时，称为面状符号。这时，符号所处的范围同地图比例尺发生关系，且不论这种范围是明显的还是隐喻的，是精确的还是模糊的。用这种地图符号表示的有水域范围、森林范围、各种区划范围、动植物和矿藏分布范围等，如图 7.4 所示的沼泽、树林和湖泊等面状符号。



图 7.4　地图上的面状符号

面状符号的作用主要是说明物体（现象）的性质和分布范围。物体的性质，通过面状符号内部的颜色的色相、亮度、饱和度、网纹的变化或内部点状符号的形状变化来表示；物体的分布范围，通过面状符号的外围轮廓线来表示。面状符号都是依比例尺变化的，所以分布范围就是它的实际的位置，当其面积小于一定尺寸时就转化为点状符号。

对于一些体现象，像地貌、海洋、降雨量、人口密度等，在二维地图上，通常用线状符号和面状符号的组合加以表示。例如，地貌用等高线加分层设色来表示；人口密度用等值线加等值区域来表示等。

不论是点状符号、线状符号和面状符号，都可以用不同的形状、不同的尺寸、不同的方向、不同的亮度、不同的密度和不同的色彩（统称为图形变量）来区分和表示各种不同事物的分布、数量、质量等特征，使地图符号的表现力得到极大地扩充。

二、按符号与地图比例尺的关系分类

地图上符号与地图比例尺的关系，是指符号与实地物体的比例关系，即符号反映地面物体轮廓图形的可能性。由于地面物体平面轮廓的大小各不相同，符号与物体平面轮廓的比例关系可以分为依比例、半依比例和不依比例三种。据此，符号按其与地图比例尺的关系也分为依比例符号、半依比例符号和不依比例符号三种。

（一）依比例符号

依比例符号指能够保持物体平面轮廓图形的符号，又称真形符号或轮廓符号。依比例符号所表示的物体在实地占有相当大的面积，因而按比例缩小后仍能清晰地显示出平面轮廓形状，其符号具有相似性，且位置准确，即符号的大小和形状与地图比例尺之间有准确的对应关系。例如地图上的街区、湖泊、森林、海洋等符号，如图 7.5 所示。

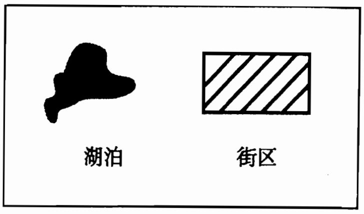


图 7.5　依比例符号

依比例符号由外围轮廓和其内部填充标志组成。轮廓表示物体的真实位置与形状，有实线、虚线和点线之分；填充标志包括符号、注记、纹理和颜色，这里的符号仅仅是配置符号，它和纹理、颜色一样起到说明物体性质的作用，注记是辅助说明物体数量和质量特征的。

（二）半依比例符号

半依比例符号指只能保持物体平面轮廓的长度，而不能保持其宽度的符号，一般多是线状符号。半依比例符号所表示的物体在实地上是狭长的线状物体，按比例缩小到图上后，长度依比例表示，而宽度却不能依比例表示。例如一条宽为 6m 的公路，在 1∶10 万比例尺图上，若依比例表示，只能用 0.06mm 的线显示，显然人眼很难辨认，因此地图上采用半依比例符号表示它。半依比例符号只能供量测其位置和长度，不能量测其宽度，例如地图上的道路符号、境界符号等，如图 7.6 所示。

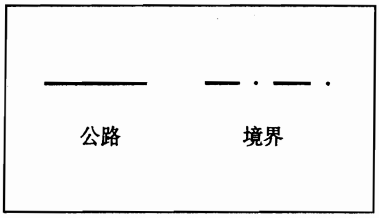


图 7.6　半依比例符号

（三）不依比例符号

不依比例符号指不能保持物体平面轮廓形状的符号，又称记号性符号。不依比例符号所表示的物体在实地上占有很小的面积，一般为较小的独立物体，按比

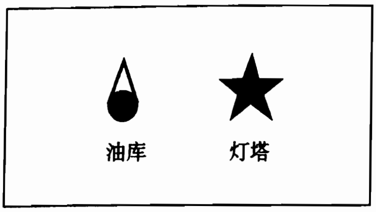


图 7.7　不依比例符号

例缩小到图上后只能呈现一个小点子，根本不能显示其平面轮廓，但由于其重要又要求表示它，因此采用不依比例符号表示。不依比例符号只能显示物体的位置和意义，不能用来量测物体的面积大小和高度（必须通过说明注记辅助表示）。例如地图上的油库符号、灯塔符号、三角点符号等，如图 7.7 所示。

地面物体究竟是采用依比例符号、半依比例符号还是不依比例符号表示，这不是绝对的，随物体大小的差异和地图比例尺的变化而变化。原来依比例表示的物体，随着比例尺缩小，可能就会变成半依比例符号甚至不依比例符号。

三、按符号表示的制图对象的地理尺度分类

按符号表示的地理尺度可以将符号分为定性符号、定量符号和等级符号，如图 7.8 所示。

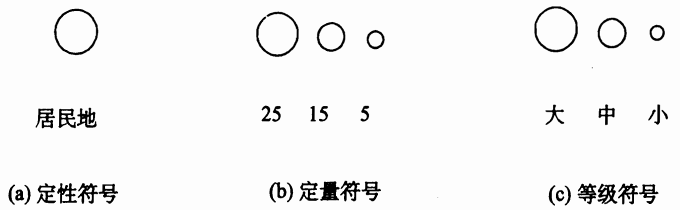


图 7.8　按符号表示的制图对象的地理尺度分类示例

（一）定性符号

表示制图对象质量特征的符号称为定性符号。这种符号主要反映制图对象的名义尺度，即性质上的差别。普通地图上的符号除注记外基本上属于定性符号。

（二）定量符号

表示制图对象数量特征的符号称为定量符号。这种符号主要反映制图对象的定量尺度，即数量上的差别。在地图上，通过定量符号的绝对比率（或相对比率）关系，可以获取制图对象的数量值。

（三）等级符号

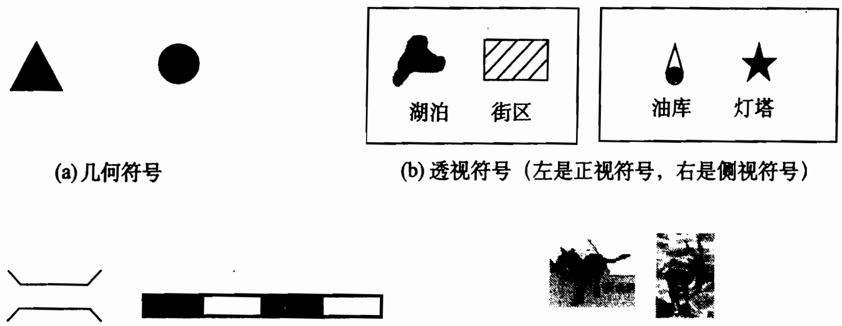
表示制图对象大、中、小顺序的符号称为等级符号。这种符号主要反映制图对象的顺序尺度，即等级上的差别。在地图上一般通过符号的大小来判定其等级

大小。

四、按符号的形状特征分类

根据符号的外形特征还可将符号区分为几何符号、透视符号、象形符号和艺术符号等。

几何符号，指用简单的几何形状和颜色构成的记号性符号，这些符号能体现制图现象的数量变化，例如三角形符号、圈形符号等。透视符号，指从不同视点将地面物体加以透视投影得到的符号，根据观测制图对象的角度不同，可将地图符号分为正视符号和侧视符号，普通地图上的面状符号大多属于正视符号，点状符号大多属于侧视符号。象形符号，指对应于制图对象形态特征的符号，如房屋、岸线、树木、桥梁等，普通地图上的符号大多是象形符号。艺术符号，指与被表示的制图对象相似、艺术性较强的符号，例如各种专题地图上的牛、羊、马、各种鸟等符号，多数是以缩小简化图片（或位图）的形式出现（图 7.9）。



(a) 几何符号　(b) 透视符号（左是正视符号，右是侧视符号）

(c) 象形符号　(d) 艺术符号

图 7.9　按符号的形状特征分类示例

第三节　地图符号的视觉变量

一、视觉变量的概念

视觉变量有时也称图形变量，是引起视觉的生理现象差异的图形因素。这种视觉上可以察觉到的差别不仅包含于认识的初级阶段——感觉阶段，同时也受认识的因素和人的心理现象的影响。在对图形的辨别水平上存在一个关于图形的广度、强度和持续时间的基本变量，即视觉变量。视觉变量的研究对图形符号设计的科学性、系统性、规范性、可视性起到了重要作用。因此，视觉变量理论引起了许多地图学家的兴趣，并根据地图符号的特点，提出了构成地图符号的视觉变量。但是，由于人们的理解和认识不同，所以给出的内容也不完全相同。目前在

二维图形视觉变量的研究方面，普遍采用的地图符号视觉变量是法国图形学家贝尔廷（J. Bertin）提出的形状、尺寸、方向、亮度、密度、色彩六个基本视觉变量，它们分别包括点、线、面三种形式。

二、J. Bertin 的视觉变量

法国图形学家 J. Bertin 提出的六个基本视觉变量如图 7.10 所示。

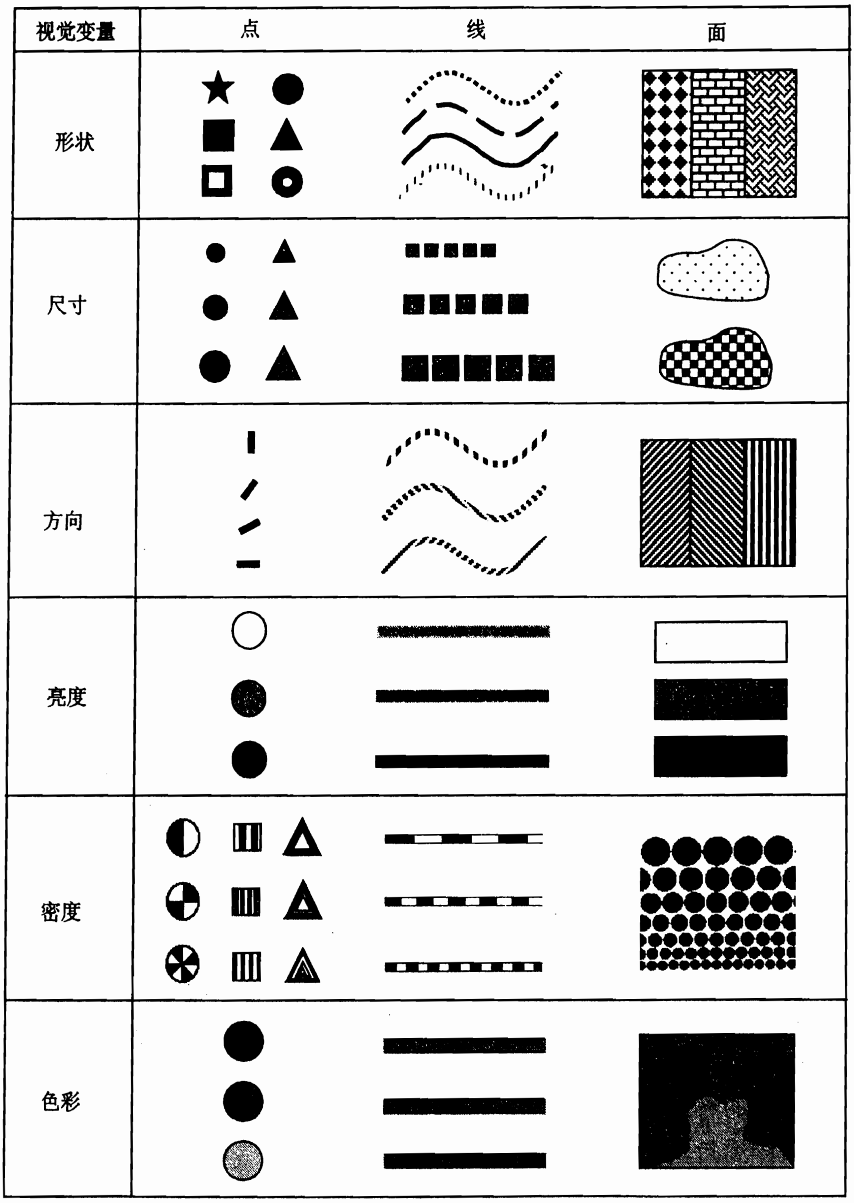


图 7.10　J. Bertin 的六个视觉变量

（一）形状变量

形状变量是点状符号与线状符号最重要的构图因素。对点状符号来说，形状变量就是符号本身图形的变化，它可以是规则的或不规则的，可以从简单几何图形如圆形、三角形、方形到任何复杂的图形。对于线状符号来说，形状变量指的是组成线状符号的图形构成形式，如双线、单线、虚线、点线以及这些线划形状的组合与变化。直线与曲线的变化不属于形状的变化，只是一种制图现象本身的变化。面状符号无形状变量，因为面状符号的轮廓差异是由制图现象本身所决定的，与符号设计无关。如图 7.11 所示。



图 7.11　形状变量

（二）尺寸变量

尺寸变量对于点状符号，指的是符号图形大小的变化。对于线状符号，指的是单线符号线的粗细，双线符号的线粗与间隔，以及点线符号的点子大小、点与点之间的间隔，虚线符号的线粗、短线的长度与间隔等。面状符号无尺寸变化，因为面状符号的范围大小由制图现象来决定。如图 7.12 所示。

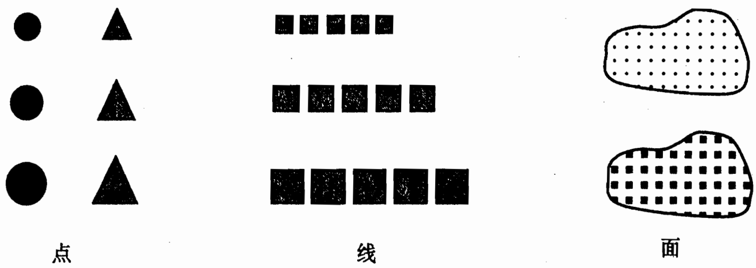


图 7.12　尺寸变量

（三）方向变量

方向变量是指符号方向的变化。对于线状和面状符号来讲，指的是组成线或

面状符号的点的方向的改变。如图 7.13 所示。并不是所有符号都含有方向的因素，例如圆形符号就无方向之分，方形符号也不易区分其方向，并在某一角度上会产生菱形的印象从而和形状变量相混淆。



图 7.13　方向变量

（四）亮度变量

亮度不同可以引起人眼的视觉差别，利用它作为基本变量指的是点、线、面符号所包含的内部区域亮度的变化。当点状符号与线状符号本身尺寸很小时，很难体现出亮度上的差别，这时可以看作无亮度变量。面状符号的亮度变量，指的是面状符号的亮度变化，或者说是印刷网线的线数变化。如图 7.14 所示。

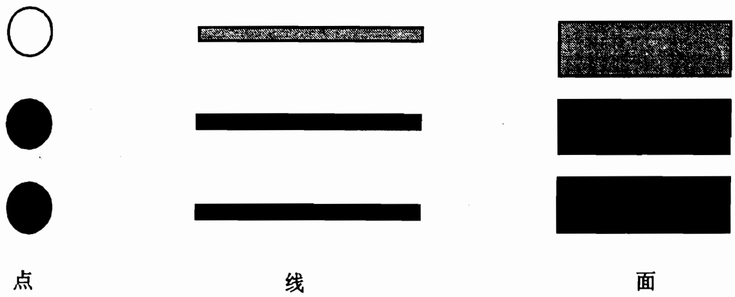


图 7.14　亮度变量

（五）密度变量

密度作为视觉变量是指保持亮度不变，即黑白对比不变的情况下改变像素的尺寸及数量。这可以通过放大或缩小符号的图形来实现。对于全白或全黑的图形无法体现密度变量的差别，因为它无法按定义体现这种视觉变量。如图 7.15 所示。

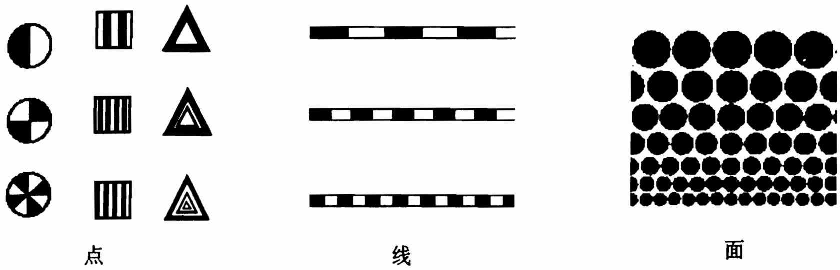


图 7.15　密度变量

（六）色彩变量

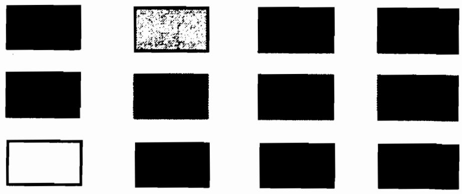


图 7.16　色彩变量

色彩变量对于点状符号和线状符号来说，主要体现在色相的变化上。如图 7.16 所示。对于面状符号，色彩变量指的是色相与饱和度。色彩可以单独构成面状符号，当点状符号与线状符号用于表示定量制图要素时，其色彩的含义与面状符号的色彩含义相同。

三、其他视觉变量体系

近 30 年来，许多地图学家在肯定 J. Bertin 的视觉变量（1967 年提出，见图 7.10 所示）的基础上，提出了多种构成图形要素的方法。较著名的有以下几种。

（一）英霍夫的“图形结构”

1972 年瑞士英霍夫在《专题地图制图学》一书中，提出了“图形结构”的概念，它将结构分为三类包括 12 种符号模型（见图 7.17）。英霍夫解释为将各种制图表示方法通过选择、变化或联合的形式合并到平面的基本构图中去。三类图形结构是：

1. 各要素表示法结构

点状符号或定位地图、线状要素网、类型或类型面积网纹镶嵌、连续要素、动量要素等。

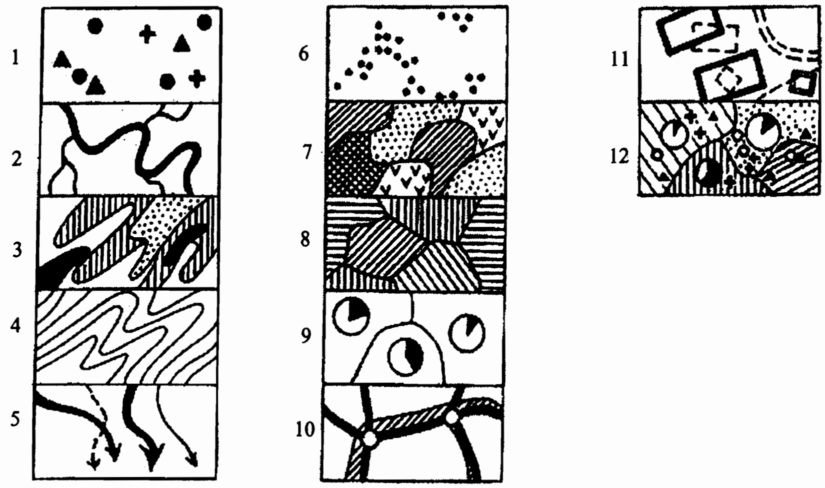
2. 统计数据表示法结构

值点或值量符号的散列、密度镶嵌、其他统计镶嵌、定位面积表、带状（动线）统计图表等。

3. 复杂结构

包括重叠——时间或空间的、联合。它的图形结构可以看作是以符号为单元

向以图形变量为单元的过渡，但图形变量的特点还没有完全形成。



1. 点状符号或定位地图
2. 线状要素网
3. 类型或类型面积网纹镶嵌
4. 连续要素
5. 动量要素
6. 点值符号的散列
7. 密度镶嵌
8. 其他统计镶嵌
9. 定位面积表
10. 带状(动线)统计图表
11. 重叠(时间或空间的)
12. 联合

图 7.17　英霍夫的图形结构

(二) 莫里逊的视觉变量

1974 年美国人莫里逊提出视觉变量可以包括形状、尺寸、色相、亮度、饱和度以及图案的方向、排列和纹理。

同贝尔廷提出的六个视觉变量相比较，莫里逊在视觉变量中增加了图案的方向、排列和纹理。图案方向对应于贝尔廷提出的方向，图案排列指图案结构，用于区分制图现象的质量差别，图案纹理对应于贝尔廷提出的密度。

(三) 萨里谢夫的“绘图方法”

1976 年，前苏联的萨里谢夫将图形要素理解为“绘图方法”，包括形状、尺寸、颜色、方向、亮度、结构，如图 7.18 所示。萨里谢夫回避视觉变量这个术语，把视觉变量当作一种“绘图方法”显然没有反映其本质特性，而且从图 7.18 看出，它与贝尔廷的视觉变量基本相同，只是把“密度”改为了“结构”。

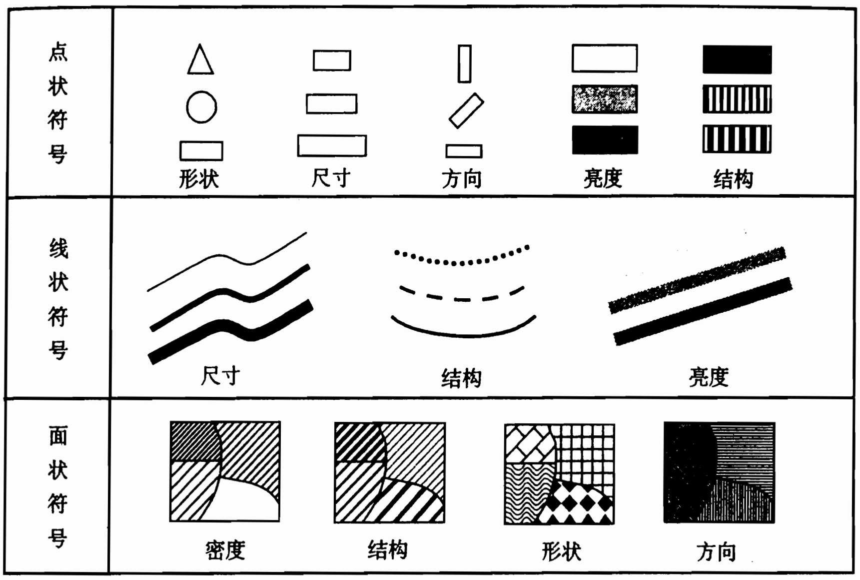


图 7.18　萨里谢夫的“绘图方法”

（四）P. Thiel 的“基本图像面积”

同一个时期，P. Thiel 在《视觉感知和设计》一书中把视觉变量称为“基本图像面积”，并认为这是一切视觉构图的基础。他认为有以下几个主要因素：数量、位置、尺寸、形状、方向、纹理、表质和色彩，如图 7.19 所示。

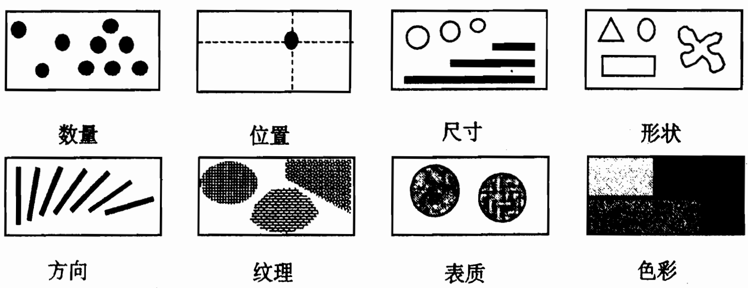


图 7.19　Thiel 的基本设计图形

（五）博德的“制图字母”

1977 年英国人博德提出用“制图字母”来表示图形要素，包括形状、尺寸、图案（方向、排列）、纹理、色彩（色相、亮度、饱和度），如图 7.20 所示。博德的“制图字母”与贝尔廷的视觉变量在某些变量的解释上有些不同。贝尔廷首

先提出了点线面的构图关系，点的延伸而成线和面，故直线和曲线并不说明“形状变量”的改变，只是对象本身形状的改变。线和面的形状变量是指组成线和面的点的形状的改变。而博德则把线的弯曲视为“字母”的改变，也就是形状变量的改变，即直线和曲线是“形状变量”的改变，这就造成符号和变量（字母）之间的区别不明显。另外，贝尔廷认为，面状符号轮廓面积大小与尺寸变量无关，面状符号尺寸变量是指构成面的点的尺寸的改变。而博德认为符号面积的大小就是面状符号的尺寸变化（线的长短、粗细都代表尺寸的变化）。这对于区别地图符号（点、线或面符号）带来了问题。

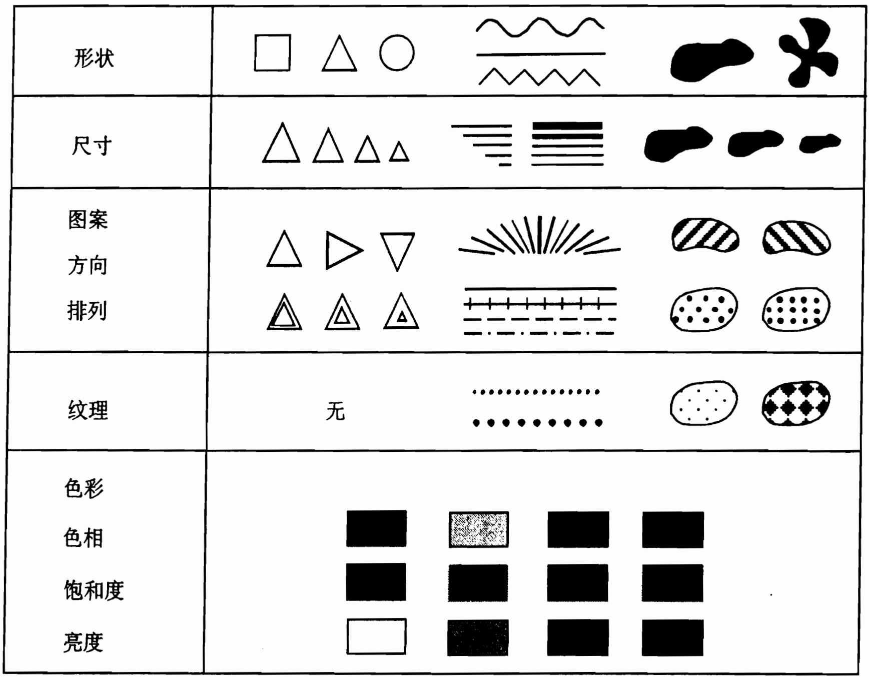


图 7.20 博德的“制图字母”

（六）基茨的“图形变量”

1982 年英国人基茨在《理解地图》一书中提出图形要素可称为“图形变量”，包括形状、维、亮度和联合使用，如图 7.21 所示。基茨提出的“维”的概念与贝尔廷的“尺寸”稍有差别。基茨把“维”作为一个图形变量并非指二维（平面）或三维（立体）的差别，而是“尺度”的意思。他认为图形影像维的辨别含有判断物体（目标）的相对尺寸以及它们之间的区别的能力的意思，就地图而言，它体现在点状符号的直径或面积，线的宽度或线号及两线间的间隔。所以它比尺寸的概念更广泛些。

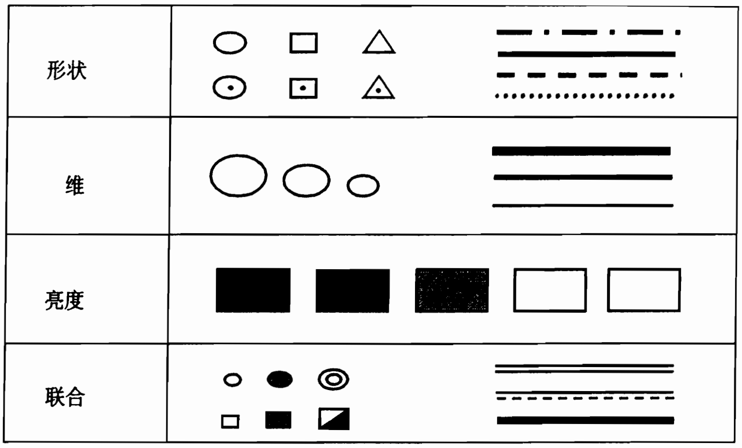


图 7.21　基茨的图形变量

（七）罗宾逊的基本图形要素

1984 年美国人罗宾逊等在《地图学原理》（第五版）一书中，将图形要素定名为基本图形要素，包括色相、亮度、尺寸、形状、密度、方向、位置，如图 7.22 所示。

1995 年在《地图学原理》（第六版）一书中，作者改用“视觉变量”代替“基本图形要素”，并认为视觉变量可以划分为基本的和从属的两部分。基本视觉变量包括形状、尺寸、方向、颜色的色相、颜色的亮度、颜色的彩度；从属视觉变量包括网纹的排列、网纹的纹理、网纹的方向。罗宾逊与贝尔廷视觉变量的主要差别是，他提出了“网纹”这一变量，如图 7.23 所示。“网纹”有时也称“图案”是指构成面积符号特征的图形。这与贝尔廷的密度的概念完全不同。视觉变量中它们的差别最大，所以特别解释一下“图案”的含义。图案是由一组同形的纹样有规则的组合排列而成，主要有点纹样、线纹样及混杂纹样三类图案。图案变量指的是构成图案的纹样的形状及排列方向的变化。点状符号与线状符号只有在表示定量的专题要素时才使用图案变量，如分级圆符号、动线符号等，此时的点状符号和线状符号在构图上与面状符号无异。而图案变量对于构造面状符号来说，则是一个重要的视觉变量，它可用来构成各种图案的面状符号，如图 7.24 所示。

从以上论述可以看出，不同时期不同的人对视觉变量给出的内容不尽相同，但是他们都承认视觉变量是分析图形要素最合适的方法。

四、视觉变量所产生的视觉感受效果

视觉变量能够引起视觉感受的多种效果，可归纳为整体感、等级感、数量

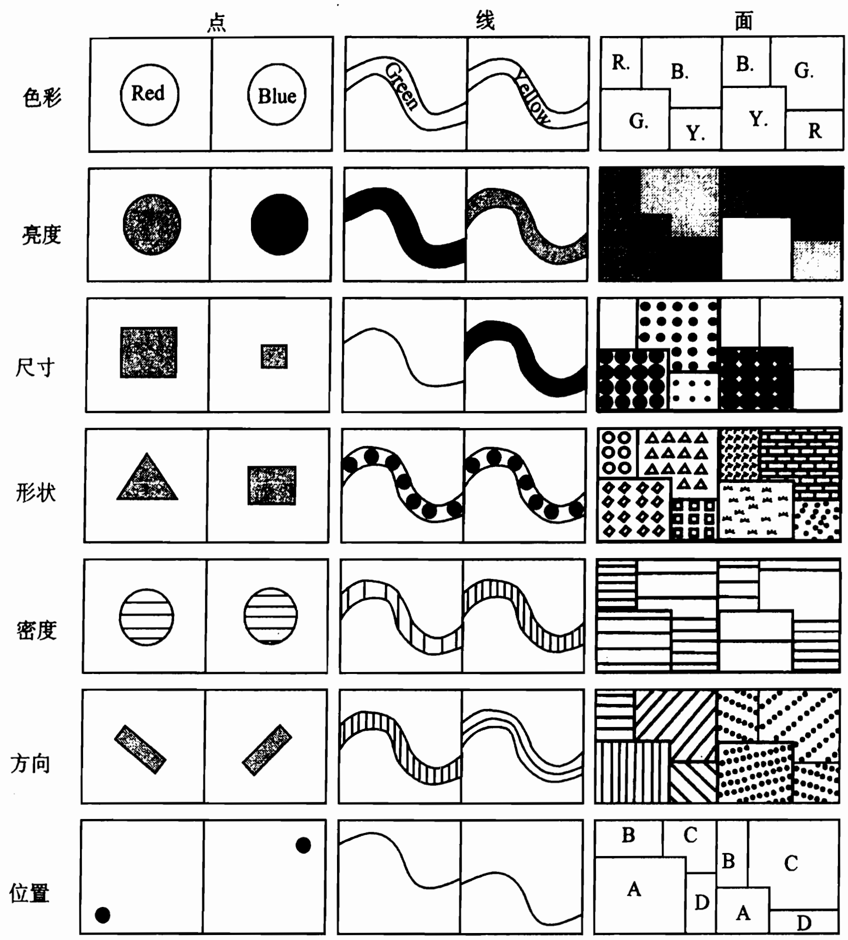


图 7.22　罗宾逊的基本图形要素

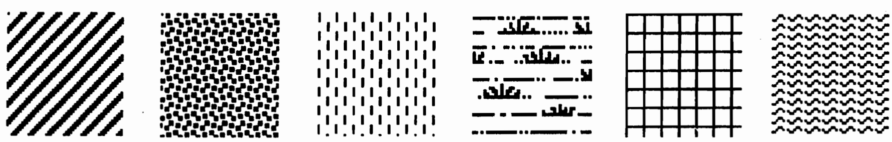


图 7.23　网纹变量（罗宾逊）

感、质量感、动态感、立体感。每一种视觉变量的感受效果并不相同。对它们各自感受效果的分析，有助于使它们每个变量能较好地参与地图符号的设计，提高地图设计的水平。下面分别加以叙述。

（一）整体感

由不同像素组成的一个图形，看上去在整体上没有哪一种像素特别突出，如

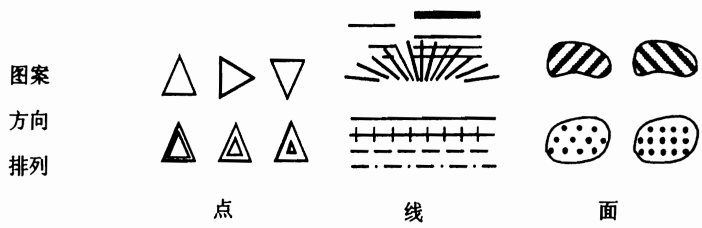


图 7.24　图案变量（罗宾逊）

图 7.25 所示。形状、方向、色彩中的近似色都可产生整体感。整体效果的好坏，取决于形状、方向、色彩的差别大小和相应的外围环境。亮度、尺寸和密度由于本身的差别较大，整体感的效果不好。

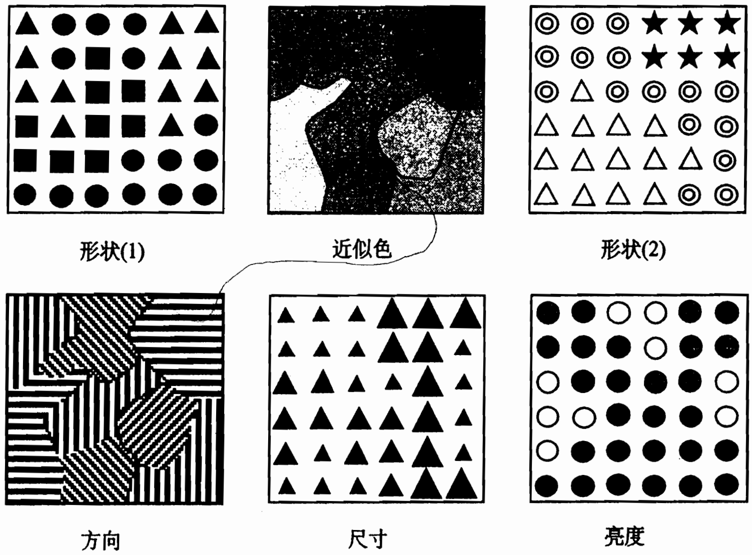


图 7.25　产生整体感的视觉变量

（二）等级感

将观察对象迅速而明确地分出几个等级的感受效果，如图 7.26 所示。尺寸、亮度和密度都能产生等级感。消色的亮度显示是灰度尺，即从白到黑可以排列出符号的顺序，尺寸的大小，密度的黑白对比都可产生等级的变化。

（三）数量感

从中获得绝对差值的感受效果。只有二维平面上的尺寸变量可以表达这种效果，如图 7.27 所示。由于数量感要求变量的可量度性，所以采用抽象的几何图

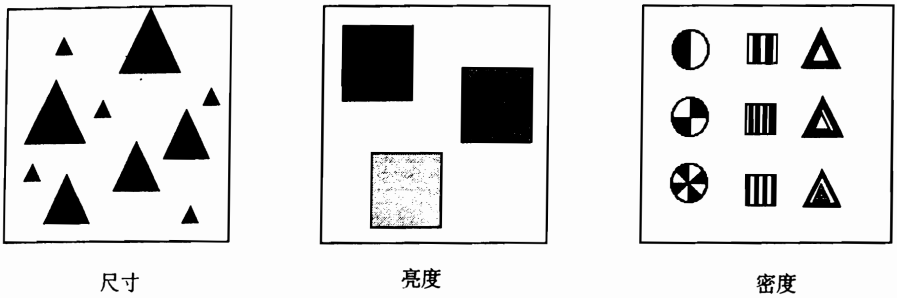


图 7.26　产生等级感的视觉变量

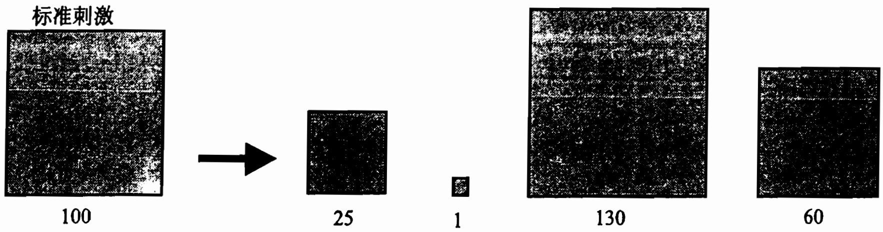


图 7.27　由尺寸变量产生数量感的例子

形作变量的形态较好，例如圆形、三角形、方形等。图形越简单，判别数量的准确性越强；反之，图形越复杂，判别数量的准确性越差。

（四）质量感

将观察对象区分出几个类别的感受效果，如图 7.28 所示。形状和色彩是产生质量感的两个变量。色彩主要表达不同性质的面状现象，而表达不同地物分布特点的点状现象，一般用形状变量并配合色彩来表达其质量差别。

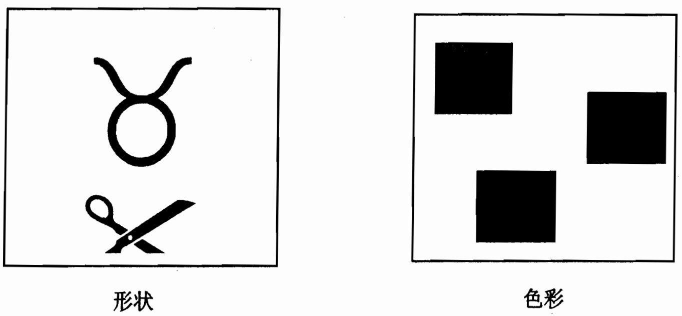


图 7.28　产生质量感的视觉变量

（五）动态感

构图上给读者一种运动的视觉效果，如图 7.29 所示。单一的视觉变量一般

不能产生动态感，但是有些视觉变量的有序排列可以产生动态感。例如同样形状的符号在尺寸上有规律地变化与排列、亮度的渐变都可以产生动态感；另外，箭头符号是产生动态感的有效方法。

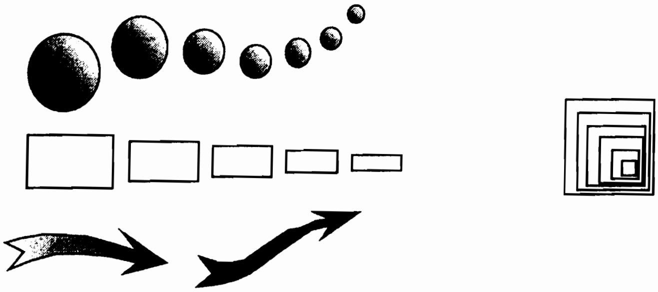


图 7.29　通过构图产生动态感

（六）立体感

通过变量组合，使读者从二维平面图上产生三维立体视觉的感受效果，如图 7.30 所示。尺寸变化、亮度变化、纹理梯度、空气透视、光影变化等都能产生

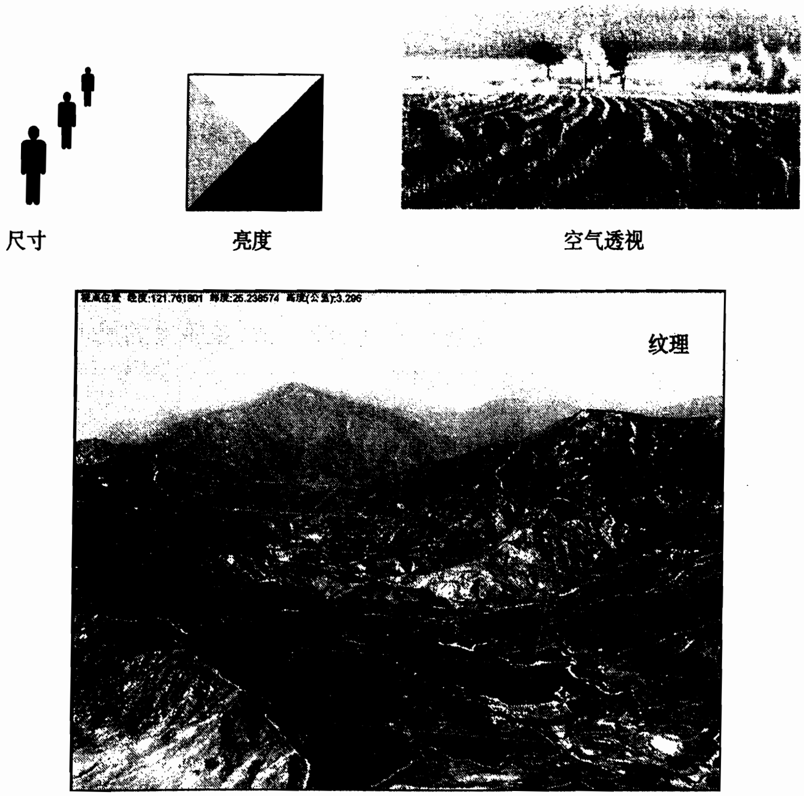


图 7.30　尺寸变化、空气透视、光影纹理变化等产生的立体感

立体感。

通过以上讨论，我们可将视觉变量能够产生的最佳感受效果列成一张表，见表 7.1 所示。

表 7.1　视觉变量产生的感受效果

	整体感	等级感	数量感	质量感	动态感	立体感
尺寸		●	●		●渐变	●有规律
亮度		●			●渐变	●有规律
密度		●				
色彩	●近似色			●	●渐变	●有规律
方向	●角度相近					
形状	●简单几何			●		

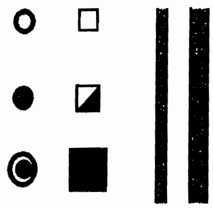


图 7.31　视觉变量的联合应用

在地图符号设计中，我们可以参照表 7.1 来选择视觉变量，使制作的地图达到最佳的视觉效果。另外，为了增加符号间的差别与联系，一个符号往往使用两个或更多的视觉变量，这就是视觉变量的联合应用，例如尺寸、亮度、形状的联合应用，如图 7.31 所示。J. Bertin 在他的视觉变量理论中，提出了任何两种视觉变量相加其感受效果总是增强的观点。但实际上，视觉变量的相加其感受效果并不都是增强的。因为，每一种视觉变量都有其最适宜的感受效果，所以在他们联合应用时必须注意，如果它们的最佳效果是一致的，则联合后总效果会增强，否则反而会减弱。例如，为了反映现象的质量差别，用尺寸和亮度的组合效果不好，但若是反映现象的数量等级差别，则它们的组合却是最好的。另外，还应注意组合时每个变量的变化方向，例如递增的尺寸变量系列与递减的亮度变量系列的联合，效果是减弱的。

五、地理现象的类型、地图符号与视觉变量的关系

地理现象存在的形式主要有点（零维）、线（一维）、面（二维）、体（三维）、时空关系（四维），我们这里所讨论的仅限于前四种地理现象。

地理现象客观存在的形式与其图解表示之间存在着错综复杂的关系。有时可以把它抽象为一个面表示，有时则可以把它抽象为一个点表示。因此，随着地图比例尺的变化和研究层次的变化，地理现象的表现形式也是变化的。例如，一个城市在大比例尺地图上可以认为具有二维特征，即有一定的面积，但在小比例尺地图上可能就要抽象为一个点现象加以表示，只具有零维特征。又如在小比例尺

图上，一条道路可以是两点间的连线（一维），而在大比例尺图上，这条路则可以有长度和宽度即二维的面状特征。对于体现象一般指地貌、海洋、大气等。但有些现象由于它们与体现象很相似，通常也归入三维地理现象之列，例如温度、降雨量、生长季节、人口密度及疾病死亡率等。在研究过程中要根据地图的用途、比例尺、制图现象及研究的特点，进行正确的抽象概括。

对于抽象概括的这四种地理现象进行分类分级之后，就可以运用视觉变量来设计符号了。地理现象的类型与视觉变量以及地图符号之间的关系如图 7.32 所示。从图 7.32 我们可以看出，地理现象（点、线、面、体）与所用的符号类型（点、线、面）以及符号的视觉变量之间具有对应的关系，但是这种对应不是简单的一一对应的关系，而是一种错综复杂的关系。同时制图的传统习惯和大多数地图读者难以理解复杂的符号因素，都限制了符号的选择范围。尽管目前没有一套专门的方法和标准对不同等级、不同形式的地理现象符号化，但它们之间确实存在一定的关系，下面我们着重从三个方面加以说明，目的是能使设计者从大量的不同维数的符号中选择出最能反映地理现象特征的符号。

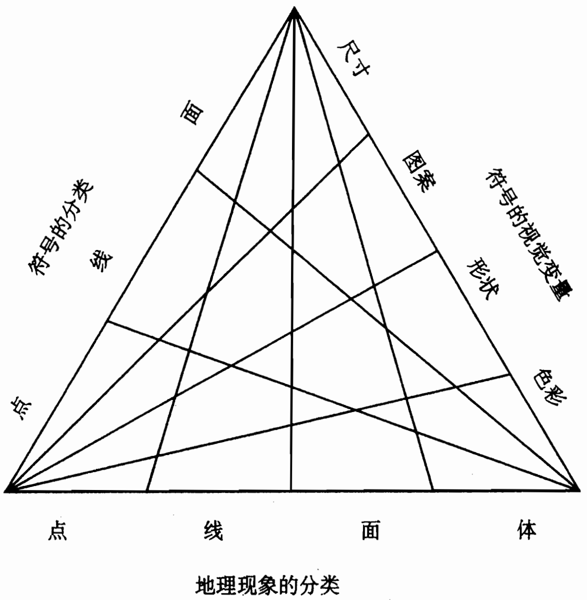


图 7.32　地理现象的类型与视觉变量以及地图符号之间的关系

（一）符号类型与视觉变量的关系

通常认为地图符号类型有四种：点、线、面、体。前三种主要描述二维平面分布的制图现象，第四种主要描述三维立体分布的制图现象。

地图符号的设计必须注意它们的视觉特征。符号的视觉变量包括形状、尺寸、色相、亮度、图案、纹理，设计者必须根据视觉变量来设计符号，使其功能

与数据的量表水平相对应。例如：根据尺寸变量与数据排列中的间隔相应，我们可以绘出一系列圆，令其尺寸与这些数值成正比，就可以反映制图现象的数量等级或数值差别；如果我们设计定名数据的符号时，就不能使用尺寸作为视觉变量，因为我们不知道定名分类之间的数字间隔，但是我们可以使用色相或形状来区分它的类别。它们之间的关系如图 7.33、7.34 所示。

量表方法	符号类型		
	点	线	面
定名	房屋	公路与铁路	小麦 谷子 大麦 作物区
顺序	小　中　大	以线数区分的道路类型	3 2 2 1 作物收成等级区
间距	.72 .74 .78 .69 点处的温度	1830 1820 1800 1790 各年人口西移趋势	暗度随平均系统验收实验记录的变化而变化
比率	人口分级圆或其他点状符号	商品交易的分级流向线	人口密度的面积比值图

图 7.33　符号类型与量表方法之间的关系

（二）地图类型与视觉变量的关系

地图符号的设计必须与地图表达要素的类型相一致。地图既可表示定量要素，也可表示定性要素。不是所有的符号变量都可同时适用于定量或定性地图要素。对于每种地图来说，不同符号（点、线、面）的变量特征具有不同的图形表达形式。例如，点状符号既可用于定性制图也可用于定量制图，形状是定性地图上视觉变量的特征，尺寸是定量地图上视觉变量的特征。符号的视觉变量与地图

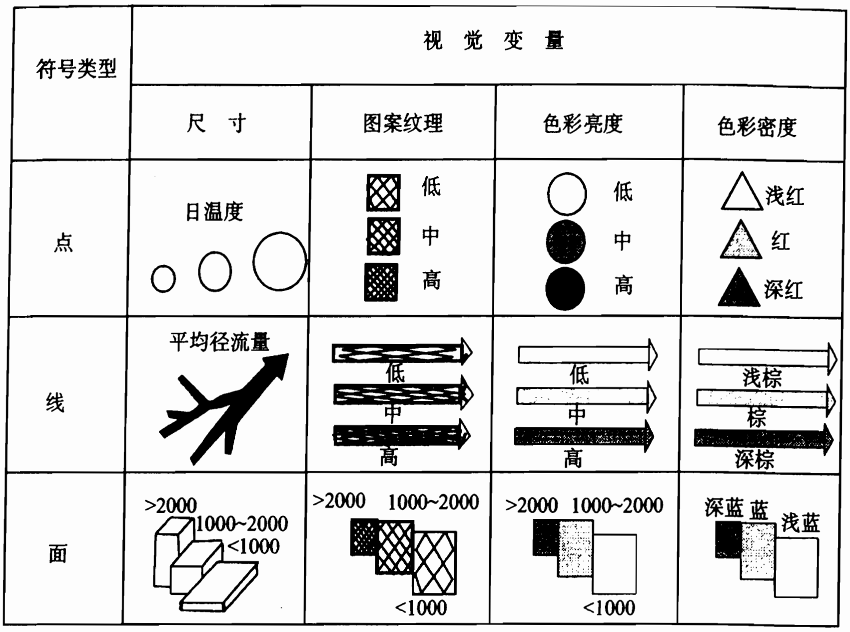


图 7.34　符号类型与视觉变量之间的关系

类型的关系如表 7.2 所示。

表 7.2　视觉变量与地图类型关系

视觉变量	地图类型（定性）	地图类型（定量）
形状	●	
尺寸		●
亮度		
色彩	●（色相）	●（亮度、饱和度）
图案	●（方向、排列）	
纹理		●

尽管地图的符号设计受视觉变量和地图类型的限制，但是仍然有多种符号可以使用。图 7.35 列出了定量制图中使用的符号类型及其视觉变量。

（三）地理现象的特征与符号的选择

点状物体的数据（如一定比例尺图上的城市）通常用圆点或分级圆来表示。线状物体如道路、河流、管线等，可用线状符号表示，通常用具有一定色彩和形状的实线或虚线来表达其质量和数量特征。具有区域范围的地理现象如湖泊、水库、村庄等可用面状符号表示，通常用图案或色调来表示其性质和等级特征。对

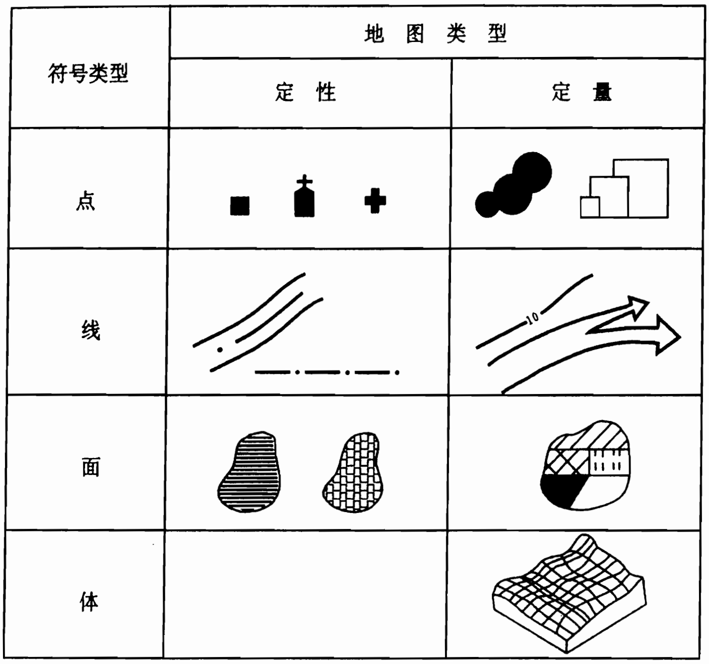


图 7.35　定量制图中符号类型及视觉变量

于特殊的地貌要素，高程用等高线表示（等高线是一种线状符号），不同高程带则用不同色普染表示（即分层设色，这是一种面状符号）。立体现象用三维图形的地图符号来表示。

根据以上特点，我们将这四种符号和四种量表尺度联系起来，并充分考虑地理现象的分布特点（离散分布、有序分布或连续分布），就可以形成地理现象与地图符号类型和量表方法之间的一张关系表（表 7.3）。

表 7.3　地理现象与地图符号类型及量表方法之间的关系

空间维度	分布形式	量表方法及符号类型
点	离散分布	定名和顺序点状符号表示点状现象的结构 间距或比率点状符号（均匀的小圆点）表示点状现象的密度结构 间距或比率点状符号（分级符号）表示呈集中式散列分布的点状现象在点或区域单元中心的总量
线	有序分布	定名和顺序线状符号表示线状现象的结构 间距或比率线状符号（分级流向线），表示点与点之间的联系
面	连续分布	定名和顺序面状符号表示面状现象的结构 间距或比率面状符号表示面状单元内数量的结构
体	连续分布	顺序面状符号图案（显示山体），表示立体现象的相对差异 间距或比率线状和面状符号（普染或不普染的等值线），表示立体现象的空间形式与增减率 间距或比率面状符号（等值区域），表示立体现象的变化

第四节　地图符号的功能

用符号表示地图内容具有许多优点，它把地面上错综复杂的物体和现象抽象出来，用符号反映在地图上，使读图者能够看到本质的全局的现象与规律。这是现代地图最重要的特征之一。

一、地图符号是地理空间信息的载体和传递的手段

地图作为“客观世界的模型”，并非真实世界，而是经过认知、抽象，有选择、有区别地表现世界的过程和结果。显然，地图符号及其组合具有揭示客观地理世界的结构、分布特征和相互关系的功能。人们在认知地理环境时，不可能直接接触所要了解的一切对象，很多时候都是通过阅读和解译地图符号即通过地图模型了解客观世界，获取其空间信息的。同时由于地图是一种“图形”即形象符号模型，地图符号与它所代指的制图对象之间具有约定关系，具有一种特殊的、区别于并在很多方面优于自然语言的视觉感受效果，所以地图符号可以形象、直观、生动的表达和传递地理空间信息。如图 7.36 所示：人们很容易从这些符号，联想到相应的客观地理实体如烟囱、塔形建筑物，获得控制点的位置和类别信息或者人口流动的方向；从河流与道路符号的组合可以获取两要素的位置信息以及它们之间的关系信息，等等。

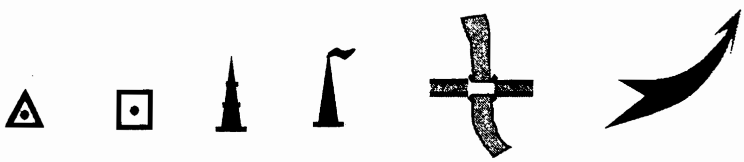


图 7.36　地图符号可以表达地理空间信息

二、地图符号构成的符号模型，可以对地理空间进行不同程度的抽象、概括和简化，并不受比例尺的限制，使可视化结果清晰易读

地图符号是对客观世界的物体或现象进行抽象、概括和简化的结果，本质上是一种科学综合方法。地图上的一个点可以表达如图 7.37 所示的很多意义。例如，它可以表示某些实体的位置，如高程点、机场的位置；可以表示现象的空间变化，如人口的空间分布变化；可以表示某些无形的空间现象，如气温、降水；可以表示时空变化，如人口随时间变化的特征；可以表示制图对象的数量差异，如城市的人口数及国民经济总产值等的数量差异；可以表示某种质量概念，像干

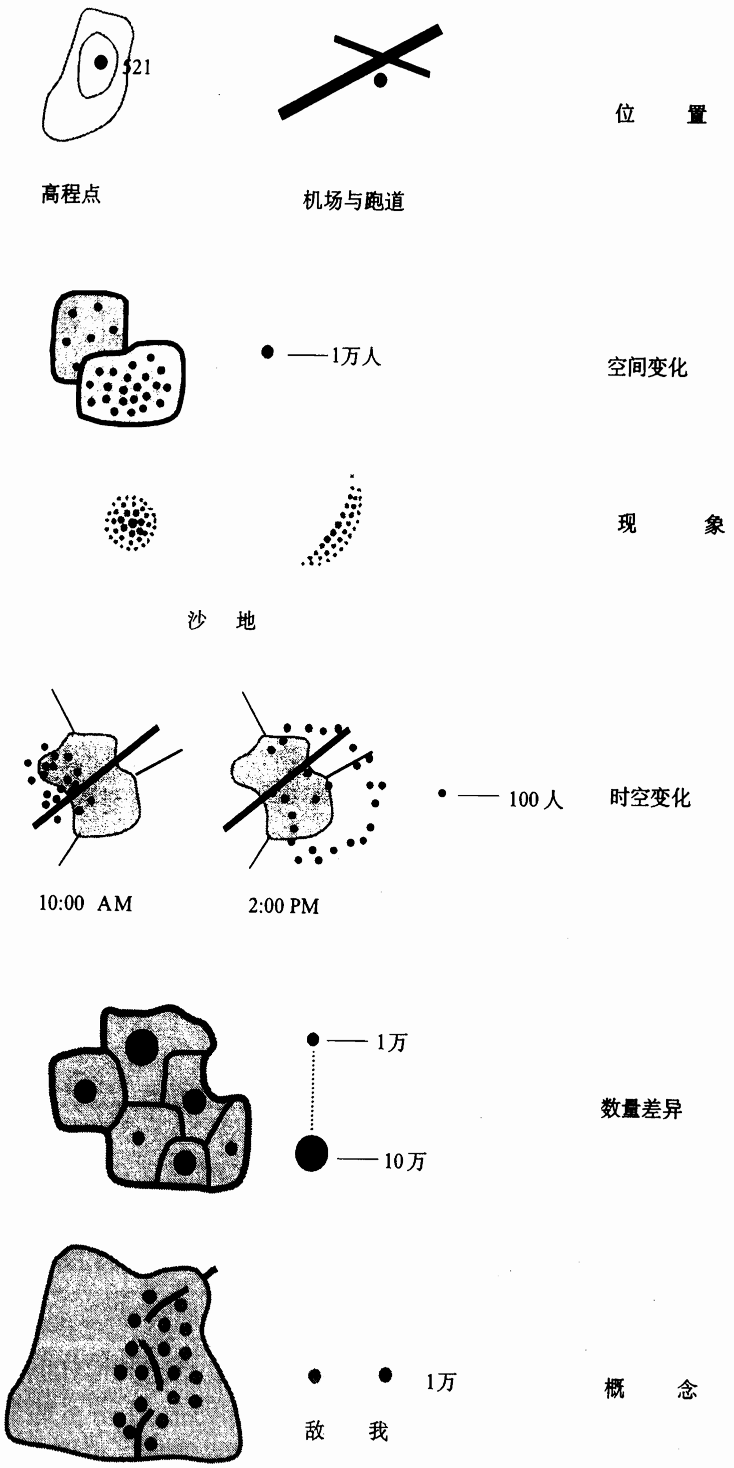


图 7.37　一个点可以表达很多意义

出滩、沼泽，等等。线状和面状符号也是如此，它们都是对空间现象的抽象表达，并且不受比例尺的限制。

三、地图符号可以赋予可视化极大的表现力

它不仅可以表现具体的、抽象的、过去的、现存的、预期的、运动的事物，还可以表现事物的外形和内部特征等。如图 7.38 所示，它可以表示具体的事物，像一个居民地、一棵树；可以表示抽象的事物，像基督教、佛教、天主教的分布等；可以表示过去的事物，像古迹；可以表示现在的事物，像房屋、山脉；可以表示预期的事物，像计划修建的道路；可以表示事物的外形，像湖泊的轮廓形状；还可以表示事物的内部特征，像海滩的内部特征为淤泥、沙滩，等等。



图 7.38　符号可以表示多种含义

四、地图符号能再现客体的空间模型，或者给难以表达的现象建立构想模型

地图符号能给难以表达的现象建立构想模型，例如等高线、等深线、等温线、等降水量线等，可以构成立体模型，或构成 DTM 模型、趋势面模型等。在符号和这些模型上都可以进行相关的数量分析。如图 7.39 所示，在等高线图上可进行高度带和坡度分析。



图 7.39　在等高线图上进行高度带和坡度分析

地图符号的这些功能，使得地图内容要素（地理空间信息）得以形象、直观、准确地表达，并将地理空间信息传递给用图者。

五、能提高地图的应用效果

地图符号不是孤立存在的，它不仅有名称的“内涵”，还可通过组合关系反映某种“外延”。典型的例子就是等值区域图。等值区域图是以一定区划为单位，根据各区某专题要素的数量平均值进行分级，如人口密度、人均收入、人均产量等等。用面状符号表示该要素在不同区域内的差别的方法。通过符号的组合关系可以获得制图对象的数量多少、速度快慢、实力强弱和水平高低，以及区域内同一指标的部分量占总量的比例，能够给人以深刻印象。

第五节　地图符号设计的基本方法

一、制约地图符号设计的基本要素

对于地图制图来说，地图符号设计实质上是一个系统工程，在整个过程中受

到多种因素的制约。概括起来主要有主观因素和客观因素。

（一）主观因素

影响符号设计的主观因素有符号的视觉变量及视觉感受效果；符号构图的视觉生理、心理因素；地图信息的视觉感受水平；符号的传统习惯和标准。

1. 符号的视觉变量及视觉感受效果

如前所述，不同的视觉变量有不同的视觉感受效果，视觉变量的选择直接影响地图符号的视觉感受效果。设计地图符号时，要根据前述（第七章第四节）地理现象类型、地图符号与视觉变量的关系，按照表示制图对象的地图符号的感受效果要求，来选择相应的视觉变量以构成合适的地图符号。

2. 符号构图的视觉生理、心理因素

人的视觉生理决定了人眼的视觉分辨能力是有限的，地图符号是给人看的，因此，符号设计的尺寸大小、粗细、距离以及符号构图的特点等应该满足人眼视觉分辨能力和人阅读地图的心理反应要求。

3. 地图信息的视觉感受水平

人的视觉感受是多层次的，对于主题内容或重要内容要求符号大而醒目，使其处于读图者视觉感受的第一层次上；反之，符号应该小而淡，使其内容处于视觉感受的第二或第三层次。这有赖于视觉变量及视觉感受效果的正确选择。

4. 符号的传统习惯和标准

地图符号设计既要创新，又要考虑传统习惯和标准，这样才便于被人们接受和理解。尤其是普通地图符号，经过长期的制图实践，已经基本形成了相应的习惯用色和形状，并且这些符号确实体现了符号的各种特性，具有一定代表性。例如系列比例尺地形图符号都有相应的图式规定。专题地图符号虽然没有相应的标准，但是在设计符号时，也要考虑这一特点。

（二）客观因素

影响地图符号设计的客观因素包括地图的资料特点、地图的用途和内容、地图的比例尺和地图使用环境等。

1. 地图资料的特点

地图资料类型不同，则符号设计时所选择的视觉变量及感受效果也不相同。例如：如资料表现制图对象的分布特征是点、线和面，则选择相应的视觉变量，产生所要求的视觉感受效果，构成不同类型的符号；如资料表现制图对象的特征是采用数量分级，则选择能产生数量分级感受效果的视觉变量，构成定量地图符号；如资料表现制图对象的特征是定性描述的，则选择能产生质量差异视觉变量，构成定性地图符号。

2. 地图的用途和内容

地图的用途决定地图的内容，地图内容决定符号设计的原则，即是采用普通地图符号还是专题地图符号，以及符号如何组合，才能正确表达相关内容。

3. 地图的比例尺

地图的比例尺不同，地图符号设计的尺寸也应该不同。同一幅面的地图，一般比例尺大，地图内容相对少而简单，则地图符号相应要大一些；比例尺小，地图内容相对多而复杂，则地图符号相应要小一些。

4. 地图的使用环境要求

地图使用环境，指作为明视条件下的桌面用图或挂图，还是作为计算机条件下的电子地图来阅读。不同的使用环境，符号设计的大小、颜色、形状等都是不同的，即视觉变量的选择是不同的。

5. 印刷要求

印刷工艺技术和成本要求地图符号应该简单、用色少，以降低印刷成本；线划尺寸和符号的间距要符合制版印刷的要求。

二、地图符号设计的要求

地图符号设计中要把握的原则是使符号具有可定位性、概括性、易感受性、组合性、逻辑性和系统性。

（一）可定位性

地图符号的可定位性，其实质是符号定位的精确性。空间数据可视化需要表达现象的定位特征，这就要求符号本身具有可定位性。所以设计的地图符号必须有相应的定位点和方向点。

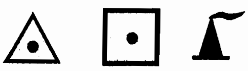


图 7.40　易于定位的地图符号

不同的应用目的对于符号定位精度的要求是不同的。普通地图以指明定位点为目的，因此要求定位精度高。专题地图强调区域、区划和分布的概念，对定位精度的要求相对较低。统计地图强调统计区域内的定量概念，对精度的要求最低。定位性较强的符号是简单的几何符号，例如三角形、方形符号等，如图 7.40 所示。

（二）概括性

地图符号的概括性体现了人类心智的发展。对于设计者而言，要善于抓住现象的主要特征，并以最简洁明了的符号加以表示，即地图符号的构图应简洁、易于识别和记忆，图形要形象、简单和规则，如图 7.41 和图 7.42 所示。对于读者而言，要善于从这种概括了的表现手法中洞察事物的细节，从中获得更多的信

息。符号概括程度受地图用途和比例尺的制约，不同的用途，同一现象的符号细节不同。

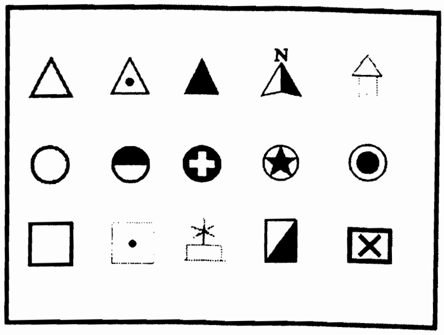


图 7.41 符号构图的概括性示例（用途不同）



图 7.42 符号构图的概括性示例（比例尺不同）

（三）易感受性

地图符号应使读者不费更多的记忆、辨别就可感受到其内涵。易感受的图形显得生动活泼，能激发起美感，进而提高可视化的传输效果。例如，用形状相同而颜色不同（蓝、红、黑）的符号，分别表示水电站、火电站和核电站，如图 7.43 所示。



图 7.43 易感受的符号（水电站、火电站和核电站）示例

（四）组合性

地图符号应充分利用符号的组合和派生，构成新的符号系统。例如用齿线和线条的组合，就可以组成凸出地面的路堤、高出地面的渠、土堆，凹于地面的路

堑、冲沟、土坑，以及单面凸凹于地面的梯田、陡崖、采石场等多种地图符号（如图 7.44）。

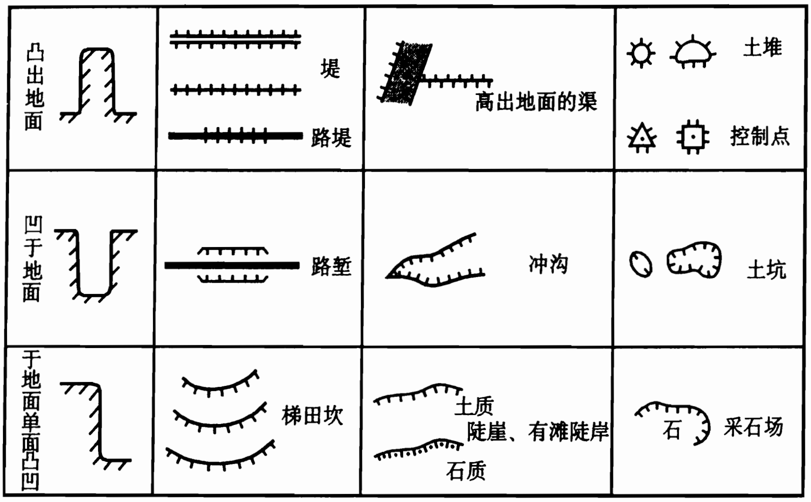


图 7.44　符号的组合性示例

（五）逻辑性

地图符号的构图要有逻辑性，保持同类符号的延续性和通用性，符号的图形与符号的含义建立起有机的联系，如图 7.45 所示。

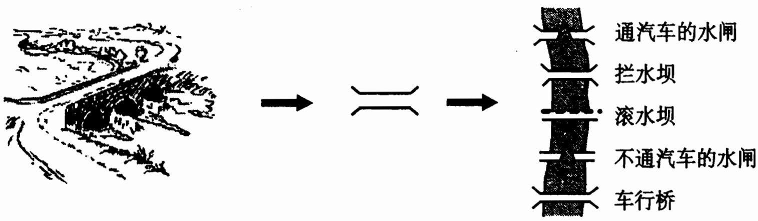


图 7.45　符号构图的逻辑性

（六）系统性

地图符号的系统完整协调，能够最佳地表现出整个地理现象之间的关系。为此，需要考虑到构图与用色以及地理现象的相互关系等因素，不能孤立地设计每种类型或每个符号，而要考虑整个符号系统的设计。

三、地图符号设计的基本步骤

地图符号设计是一个非常复杂的过程。对于单幅地图，当内容不太复杂时，

地图符号设计并不困难；但对于内容复杂的系列地图或地图集来说，既要求单个符号简洁明了，又要求多种类型符号之间有很强的系统性和可比性。此时，符号设计解很复杂，也很困难。

因此，符号设计必须遵循一定的顺序进行，才能很好地设计出相应的符号系统以满足用途要求。符号设计的基本步骤是：

第一步，根据地图的用途，确定地图应表达的内容，并区分出内容表达的层次；

第二步，应该分析所收集到的地图资料，拟定分类分级原则，确定相应的符号类型、采用的视觉变量及其组合效果；

第三步，进行符号的具体设计；

第四步，进行符号的局部试验；

第五步，进行符号修改，并制作相应的样图再进行试验；

第六步，符号的再修改及整体协调、艺术加工，形成符号系统表。

第八章　地图整体效果设计

第一节　地图整体图形设计

我们在阅读地图时，是把地图当作整体来看的。当我们没有专门的寻找对象时，一开始，只有那些最突出的、尺寸大的、色彩鲜艳的、形状奇特的图形吸引我们的注意力；而当我们阅读地图时为了要寻找一个地名、一条河或某一现象分布时，“注意”才会集中于某一方面或目标上。因此，除了为单一任务制作的一幅地图外，地图的设计者很难预料某一个有特殊要求的用图者将要在地图上寻找一个怎样的特殊目标。这就使绝大多数地图只能提供较宽的表示内容，读者所寻求的目标只是整体内容的一部分。

但这同时也为地图设计者提出了一个难题，即怎样使地图符号、注记、底色等构成的地图图形形成一个整体，而当需要某种内容时又易于把它突出在图面上。从视觉感受效果的角度来看，它们是目标与背景、视觉恒常性、视错觉以及理解在辨别中的作用等问题，即读者视觉心理因素的影响。

一、影响地图整体图形设计的视觉心理因素

人在阅读地图时，除了受外界刺激外，人的主观心理状态对视觉感受的目标、感受的程度、感受效果都有很大的影响。例如，同一个人在不同的时间、不同环境和不同的情绪下，对同一幅地图上的图形符号、颜色、背景等感受效果是不同的。表现为无目的阅读地图时受醒目符号的吸引，有目的阅读地图时对特定符号倍加注视。不同的人由于各自经验、知识、文化背景、兴趣等不同，对同一幅地图可能会产生截然相反的感受效果。这些心理因素都会对地图整体图形设计产生影响。

（一）轮廓与主观轮廓

轮廓是感受形状的基础，读者首先要注视轮廓，然后才能判别形状。线条可以勾绘轮廓以区别于其他区域；不同亮度、不同底色或不同网纹的区域在交界处也可形成轮廓。地图上划分区域时，常常将这两种方法配合使用。由于轮廓是向内部而不是向外部产生构成形状的作用，所以通常一个独立的、封闭的、小的轮廓容易感受为图形，如果再辅之于色彩，则其感受为图形的能力就会更加明显。例如地图上用封闭的图形加普染色表示街区是居民地和湖泊（图 8.1），使其看起来较为明显，并吸引人的注意力。各种独立符号、森林中的空地、水域中的岛屿、

陆地上的湖泊等，也会产生类似的感受效果。

人的视觉系统有一种要把某些带有不完整因素的图形加以完整化的倾向。如图 8.2 所示，可以看出在物理上并不存在的白色椭圆形和三角形。也就是说图形上没有表现出完整的轮廓，但主观感受时形成为轮廓即主观轮廓。利用主观轮廓这种视觉心理功能，可以使设计的图形更为简单，而不必对描述的图形统统给出完整的轮廓，同时又能使图上各要素图形相互干扰的部分都能保持其视觉完整性。例如地图上虚线、点线的大量利用、“漏空”注记、阴影注记等，都能产生主观轮廓，以保持轮廓的视觉完整性（见图 8.3）。

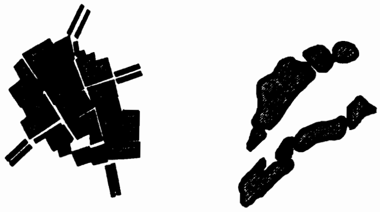


图 8.1　地图上封闭的街区和湖泊轮廓图形

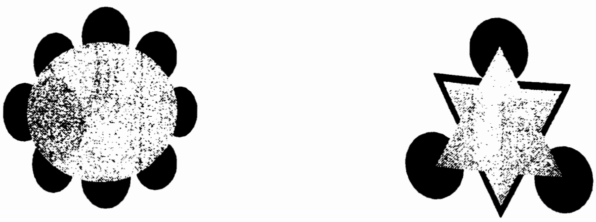


图 8.2　视觉上形成的主观轮廓

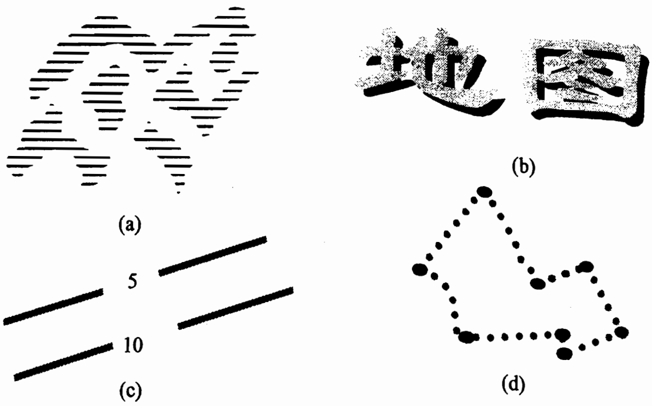


图 8.3　地图上常见的主观轮廓

但要注意的是，主观轮廓的形状必须要求简单的图形之间是光滑的，否则形成不了轮廓。例如沼泽符号［图 8.3（a）］用短线排列成的沼泽，线的长短变化应该是渐变的，这样才能形成轮廓，否则也会使图形混乱。此外，主观轮廓的视觉追踪总是要求寻求最近的连接点以形成轮廓，在一点线包围形状时，特征点和拐角点都不能遗漏。

（二）目标与背景（或称图形与背景）

目标与背景是 2 维构图中最基本的感受因素。在阅读地图时，我们的视觉总

是要把某一个或某些物体从其他地理环境要素中区分开来，当作观察的目标。这种将视域中的图形分解为图形与背景的感受倾向是一种与生俱来的感受机制。

在观察图形时，封闭轮廓线包围的内部区域容易被感受为图形，外围则容易被感受为背景；密度大的、颜色浓的容易被感受为图形；暖色系容易被感受为图形，冷色系则容易被感受为背景。因此，在地图图形设计时，要根据地图用途的要求，利用这些规律，造成图形与背景的构图层次关系，突出表达的目标，如图 8.4 所示。利用冷暖色系区分海洋与陆地。值得注意的是，图形和背景有时也是会互相转换的。如图 8.5 所示，目标是一位年轻姑娘的头像，换一个背景，目标就变成一位老奶奶的头像。所以，地图上任何符号都可能成为目标对象，因而都要考虑其构图规律。产生目标与背景关系的构图原则有：类别感受原则、尺寸感受原则、邻近度原则、内部类同性原则和对比原则。

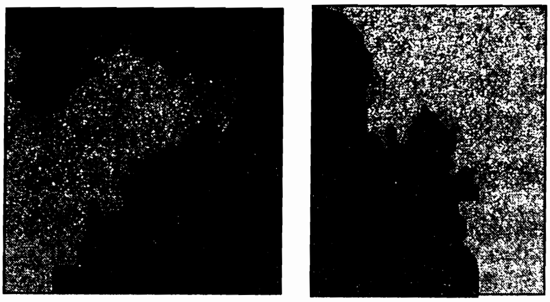


图 8.4　利用冷暖色系区分图形与背景



图 8.5　图形与背景的互相转换

1. *类别感受原则*

凡是形状、颜色、亮度相似的图形容易感受为目标，如图 8.6 所示。

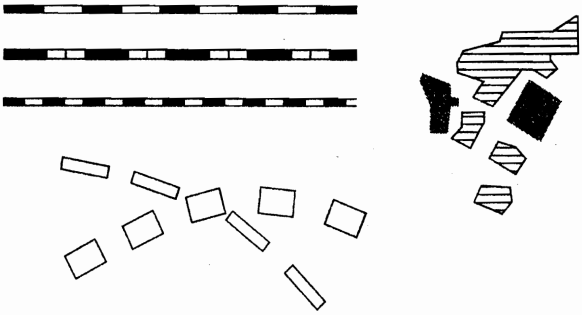


图 8.6　形状、颜色、相似的图形容易感受为目标

2. 尺寸感受原则

凡是尺寸相近的图形容易感受为目标，如图 8.7 所示。

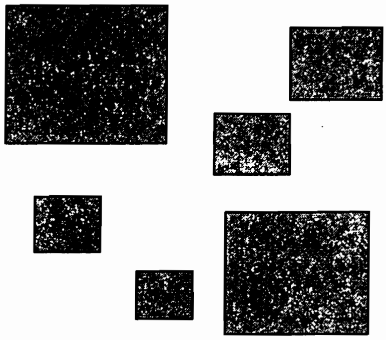


图 8.7　尺寸相近的图形容易感受为目标

3. 邻近度原则

凡是位置相邻近的图形容易感受为目标，如图 8.8 所示。

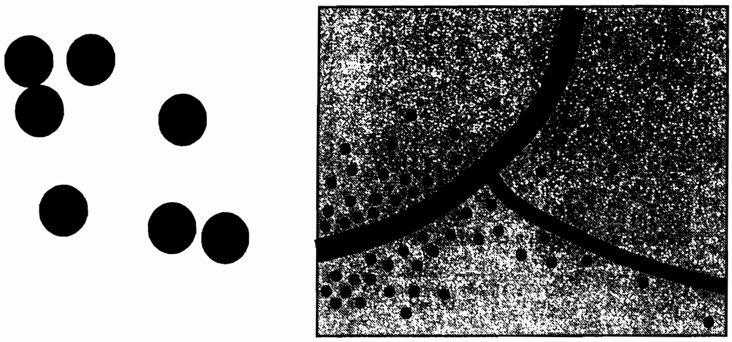


图 8.8　位置邻近的图形容易感受为目标

4. 内部类同性原则

凡是有秩序和对称的构图容易感受为目标，如图 8.9 所示。

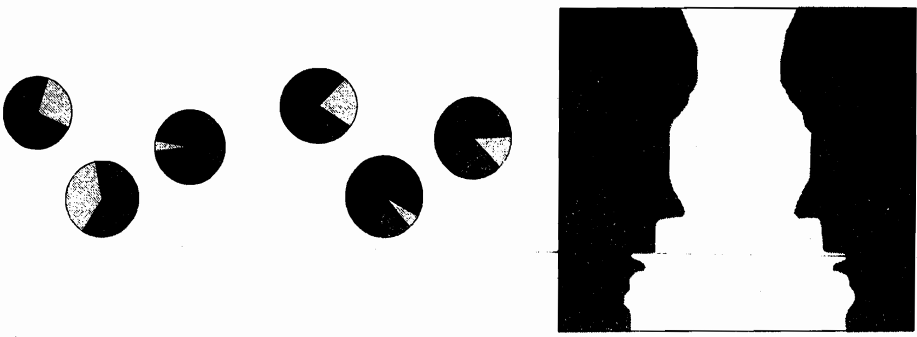


图 8.9　有秩序和对称的图形容易感受为目标

5. 对比原则

凡是图形间有明显差别的都有利于目标与背景的形成。常用的方法有：线划对比（图 8.10）、纹理对比（图 8.11）、颜色对比（图 8.12）和详略对比（图 8.13）。

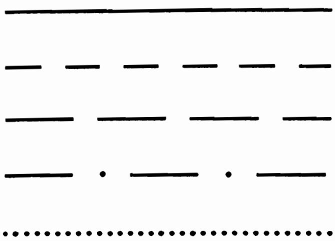


图 8.10　线划对比

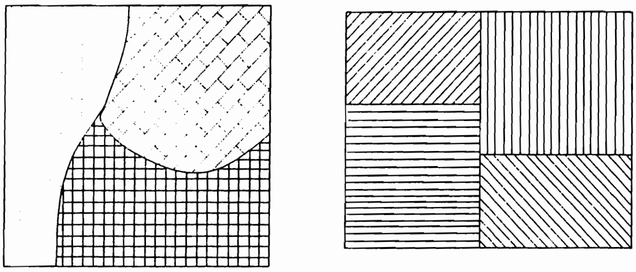


图 8.11　纹理对比

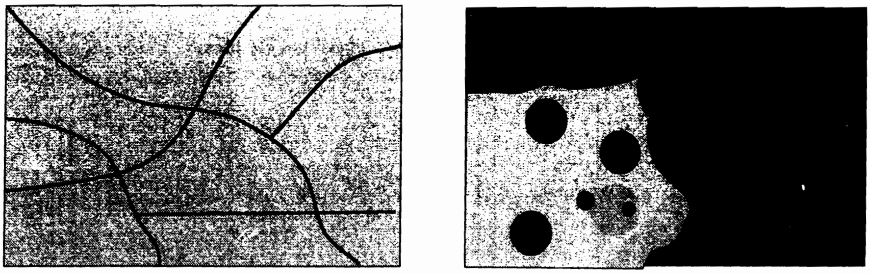


图 8.12　颜色对比

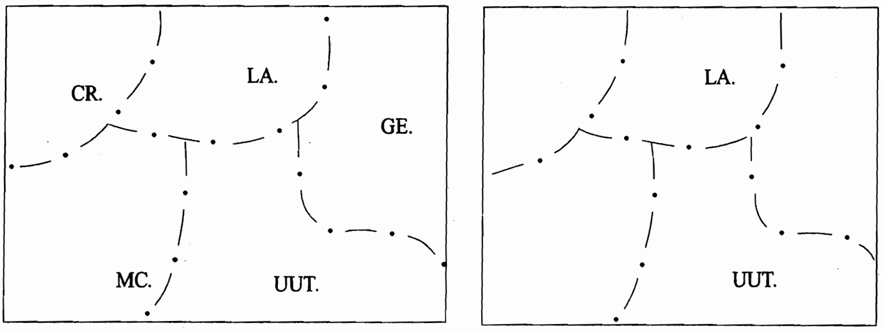


图 8.13　详略对比

（三）视觉恒常性

在观看周围变化的环境时，人的视网膜成像是随时在变化的，不仅在成像形状上而且在尺寸、亮度、色彩上也在不断改变。但是我们的感觉并未因此而改变，它在一定的变化幅度内保持一个平稳的感受，这就是视觉感受的恒常性。人

的生理机制保证了对事物感受的恒常性，使人能生活在变化多端的客观世界中而不必随时辨认稍一移动就变化的颜色、形状和大小，否则人就无法生存。例如：一个圆锥体，不会因为描述的角度不同而认为其上边缘随时会从一个圆变为一个椭圆（形状感受恒常性，见图 8.14）；不会因为光线的变化而认为军装的颜色发生了变化（亮度感受恒常性，见图 8.15）；也不会因为纸张的褶皱而改变其颜色(颜色感受恒常性)；不会因为距离的变化，而认为一个人的高度会随时发生变化(尺寸感受恒常性，见图 8.16)，等等。

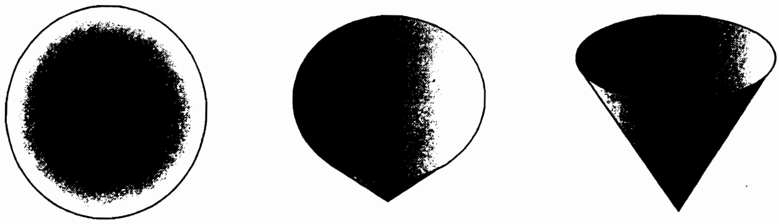


图 8.14　形状感受的恒常性

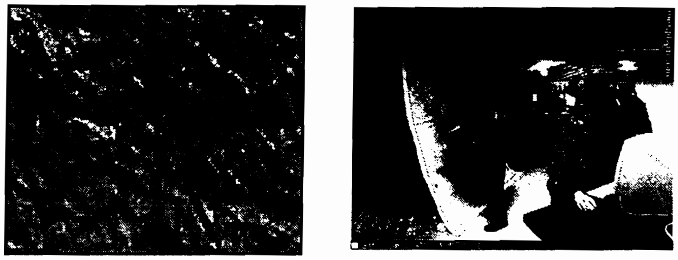


图 8.15　颜色感受的恒常性

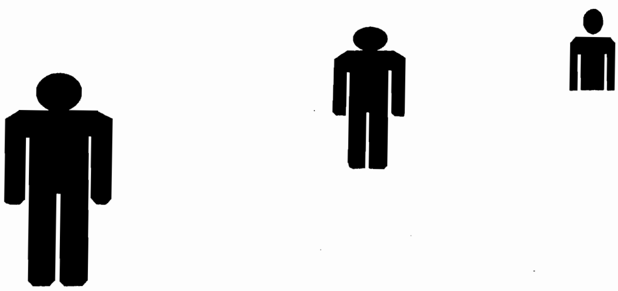


图 8.16　尺寸感受的恒常性

恒常性对一般读者来说，有加强读图能力的作用，使很多工艺问题自然得到解决。但对于构图和色彩设计者来说，往往因为他们本身遵守恒常性的影响而忽略了色彩在不同照明或工艺条件下的变化，用色过于单调而缺少层次，或者因忽视了透视理论而把椭圆画成圆形，把远近物体画得同样大小等。在地图设计时应注意这些问题。

（四）视错觉

由于环境的不同，以及某些光、形、色等各种因素的干扰，加上生理上的原因，人对物体的知觉往往发生错误，这就是视错觉。与物体的形状、线度和色彩有关的错觉称视错觉。它是一种不正确的被歪曲了的视觉感受效果。在符号构图和图面网纹配置上要考虑视错觉的影响。常见的图形错觉有以下几种。

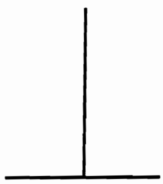


图 8.17　线段长短错觉：本来横竖线相等，但看起来竖线显得比横线长

1. 垂直线与水平线的长度相等时产生的视错觉

凡是由底线与垂线构成的地图符号都有这种倾向，例如庙宇、坟、烟囱等符号常常产生对垂线的估计偏长（见图 8.17），产生视错觉。

2. 平行线受到交叉线干扰和图形被辐射状线条分割产生的视错觉

如图 8.18 所示，两平行线各自受到交叉线的影响而显得不平行，这也可以看作是背景的干扰，即交叉线构成了背景。类似的例子还有处在辐射状线条中的图形（正方形或圆形）形状的变化，圆被辐射状线分割看上去不是圆，正方形被辐射状线分割看上去不是正方形（见图 8.19）。在一些专题地图表示方法的设计上要加以注意。

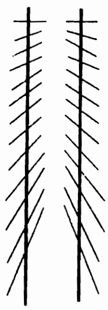


图 8.18　平行线受到交叉线影响而显得不平行

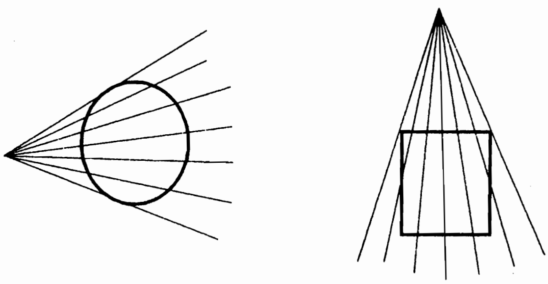


图 8.19　分割错觉

3. 图形空间对比产生的视错觉

由于图形空间对比的影响，使两个大小、形状相同的图形看起来并不相同。例如：同样尺寸的圆形在与周围环境对比中看起来发生了大小的差别（见图 8.20）。这种现象对专题地图上圈形符号的感受有很明显的影响。类似的还有同样大小的圆形，白色圆形在黑底上看上去比黑色圆形在白底上要大，即颜色的渗透错觉（见图 8.21）。

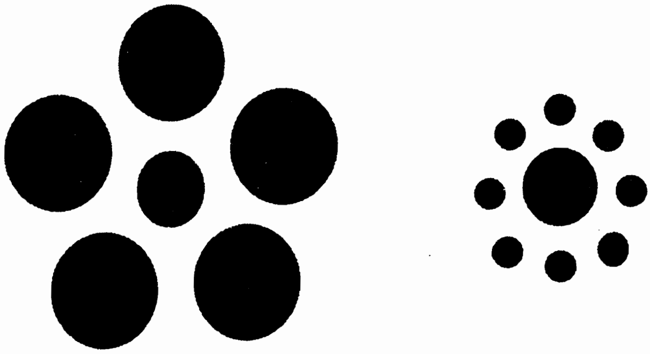


图 8.20　对比错觉

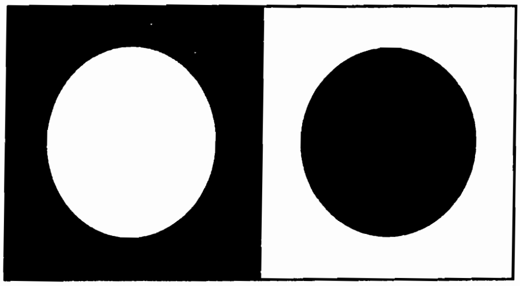


图 8.21　光渗错觉

4. 两等长的线段受端点箭头方向影响产生的不等长视错觉

两条长度相等的线段，由于线段两端点的箭头方向相反，使原本两等长的线段看上去不等长（见图 8.22）。最明显的例子是地形图上的高压电线符号和某些境界符号。

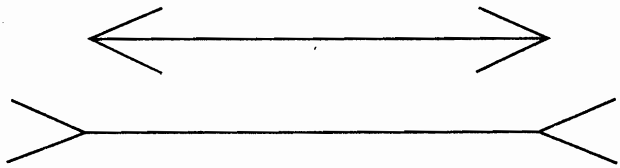


图 8.22　受附加物影响带来的长度的错觉

5. 相同大小的点与直线排列在一起产生大小不等的视错觉

直径与宽度相等的圆点与直线排列在一起，使圆点显得细小（见图 8.23）。这也是境界符号设计时经常遇到的。

图 8.23　圆点与直线排列在一起引起的大小错觉

二、地图整体配置设计

地图整体配置设计，就是指图面的整体配置设计，即充分利用地图幅面，合理地配置地图的主体、附图、附表、图名、图例、比例尺、文字说明等。

（一）图面配置的要求

1. 保持整体图面清晰易读

保持图面清晰易读性，这是设计图面配置的基本要求之一。一方面，地图各组成部分在图面的配置要合理；另一方面，所设计的地图符号必须精细而且便于阅读，选择色彩的色相和亮度易于辨别，可以方便的找到和区分出所要阅读的各种目标。

2. 保持整体图面的层次结构

为了使设计的主题内容能快速、准确、高效地传递给用图者，必须处理好图形与背景的关系，使主题和重点内容突出出来，不受背景图形的干扰，整体图面具有明显的层次感。为此，在地图设计时，主题和重点内容的符号尺寸和色彩饱和度或亮度，应该比其他次要要素符号大而明显，颜色浓而亮，使其处于整个图面的第一层次上。其他要素则处于第二或第三层次上。

3. 保持整体图面的视觉对比度

视觉对比度是表达图形信息传递质量的重要指标。地图设计时，可以通过调节图形符号的形状、尺寸和颜色来增加对比度。对比度太小或太大都会造成人眼阅读的疲劳，降低视觉感受效果，影响地图信息的传递。

4. 保持图面的视觉平衡和整体协调

这是地图图面设计中最有代表性、也可能是最重要的基本要求。地图是以整体的形式出现的，然而在一幅地图上，又是由多种要素与形式组合而成的。这就涉及若干有对应关系要素的配置，如主图与副图，陆地与水域，主图与图名、图例、比例尺、文字及其他图表（照片、影像、统计图、统计表），彩色与非彩色图形。图形设计中的视觉平衡原则，就是按一定方法处理和确定各种要素的地位，使各要素配置显得更合理。这往往没有固定的标准，必须通过图廓范围内的试验，取得满意的组合。把这些试验做法归纳起来，就是要使图画中的各要素不要出现过亮或过暗，太长或太短，偏大或偏小，位置安排不当，与图廓靠得过远或过近。图形变量中色彩、亮度、尺寸、形状、密度、位置的调整，也都可能影响视觉平衡。

（二）图面内容的配置

在同一幅地图上，图面内容的安排包括图面主区的配置和图面辅助元素（地

图的图名、图例、比例尺、统计图表、照片、影像、文字说明等）的配置。

1. **图面主区的配置**

主区构图时，应占据地图幅面的主要空间，地图的主题区域应该完整地表达出来；地图主区图形的重心或地图上的重要部分，应放在视觉中心的位置，保持图面上视觉平衡（见图8.24）。主区整个图形突出，有良好的轮廓和视觉的明显性。

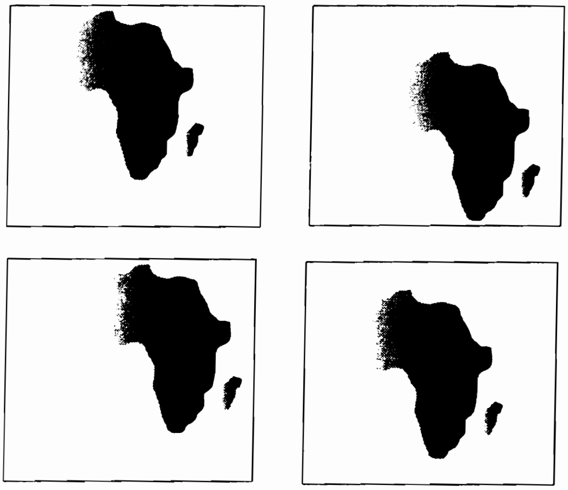


图8.24　视觉平衡的图形设计示例

配置主区时还应注意，主区要饱满匀称与周边保持协调，不能将主区范围的全部都伸向图框，甚至撑破图廓。这不但不便于建立主区与邻区间的拓扑关系，其主区的空间位置也不明显清楚。当然，也不要为了留出四周空间，而过多地缩小主区，这不仅使主区构图不紧凑，也浪费了幅面和纸张。只有在主区获得尽可能大的面积的同时，图面仍留有适当的空间，以用作其他元素的配置，这才是比较合适的。

2. **图名的配置**

1）单幅地图图名的选择应有准确的区域代表性，有利于地图的检索和使用。

2）大型地图的图名多安放于图廓外图幅上方中央，图名占图边长的三分之二为宜，离左右图廓角至少应大于一个字的距离，以求突出而清晰，但字体不可过大，排列不能与图幅同宽。若纸张有限制也可放于图内适当位置，但仍以上方为宜，不一定居中。图名以横排为主，不得已才有竖排。小幅图面的图名位置机动性较大，可放于图内的任何空位和水部。

3）图名字体一般以等线体、宋体、隶书等为主。也可根据需要利用计算机进行设计。

3. **图例的配置**

图例的位置，从布局上要考虑到在预定的范围内，密度适中、安置方便、便

于阅读。图例、图解比例尺和地图的高度表都应尽可能地集中在一起，在图内的主区内或图外的空边上系统编排。但是当符号的数量很多时，也可以把图例分成几个部分分开放置，这时要注意读者的读图习惯，从左向右有序地编排。

4. 比例尺的配置

目前地图上用得最多的形式，是将数字比例尺和直线比例尺一起表示在地图上。比例尺放置的位置，在分幅地图上多放在南图廓外的中央，或者左下角的适当地方；在内分幅的挂图上，常放在图例的框形之内，也可将比例尺放在图内的图名下方，但这时的比例尺应整饰得醒目一些。

5. 图廓的配置

图廓分内图廓和外图廓。内图廓通常是一条细线并常附以分度带。外图廓的种类则比较多，地形图上只设计一条粗线，挂图则多饰以花边。

花边的图案可以同地图表达的内容有某种联系，以便配合表达主题，也可以是纯粹的装饰性图案。花边的宽度视本身的黑度而定，一般取图廓边长的 1.5% 左右。例如：一幅面积为 3m×2m 的挂图，其外图廓宽度在 4cm 左右即可，过宽过细都不美观。

内外图廓间要有一定距离，当图面绘有经纬网时，经纬度注记一般注于这个位置，若图面上没有坐标网，这个间隔可以小些。内外图廓间的间距通常为图廓边长的 0.2%～1.0%。

6. 附图和坐标网的配置

附图在图幅上的位置，一般来说并无统一的格式，但要注意保持图面的视觉平衡，避免影响阅读主要图区。通常置于图内较空的地方，并多数放在四角隅处，可以在上，也可以在下，但大型挂图不能放在上面。有时也可以置于靠近图廓的中间部位，或稍离开图廓边的一定位置。

7. 图表和文字说明的配置

为了帮助读图，往往配置一些补充性的统计图表，以使地图的主题更加突出。这种图表在专题图上较多。

附图和图表、文字说明的数量不宜过多，以免充塞图面。简要的文字说明可以和图例安排在一起，或放在图上的空白部分。

配置附图和图表时，要注意图面上的视觉平衡。某些专题地图，特别是地图集中的专题地图，往往需要在图面上同时配置若干个同一主区的地图，以便同时表达出相互关联的一组标志。它们的比例尺可能是一致的，也可能是不一致的，这时，图面配置的重点则转移到如何确定它们的位置方面，其他的图面要素，如图名、图例等则依其主区在图面上的配置状况进行其位置、范围大小和表现形式的设计。图 8.25 是图面设计的几个示例。

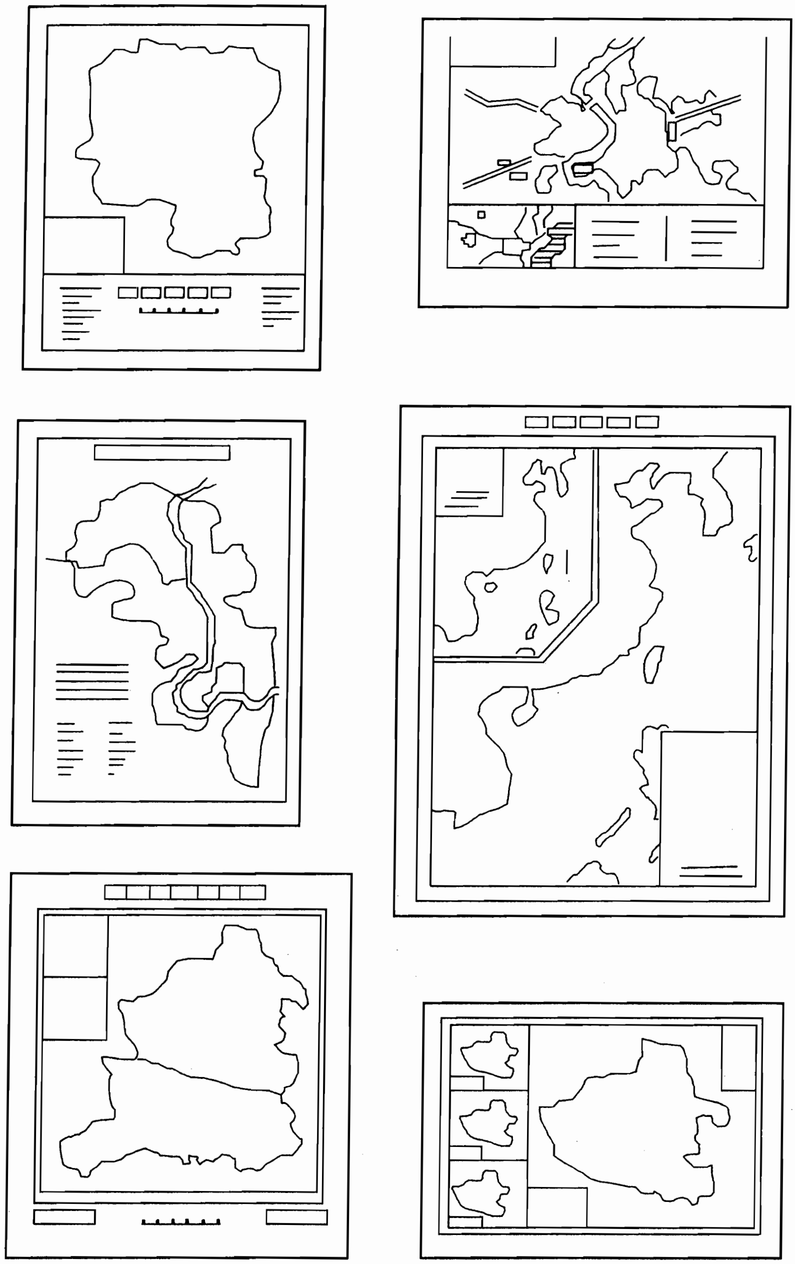


图 8.25　图面设计示例

第二节　地图色彩设计

一、色彩的基本概念与视觉心理

（一）色彩的基本概念

人们对颜色的感受涉及到人的视觉生理机制和心理机能，因此不同的学科对颜色的认识与应用也不同。

1. 光与色

光是一种电磁波，是通过波长与频率来描述的。太阳光线是由许多不同波长的电磁波组成的。电磁波波长范围很广，最长的交流电，波长可达数千米；最短的宇宙射线，波长仅有千兆兆分之几米。电磁波中只有 800～400nm（通常是 780～380nm）波长的光线，人眼才能看见，因此将这段范围的波长所构成的光谱叫做可见光谱（见图 8.26）。

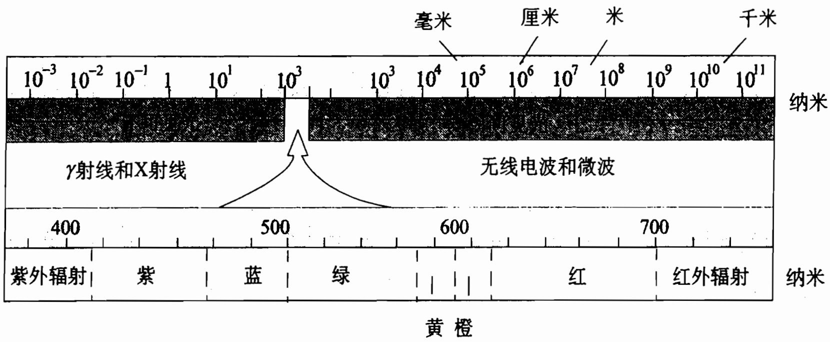


图 8.26　电磁波谱与可见光谱

可见光谱（visible spectrum）是一个连续的波谱，牛顿将其分为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七个谱段。其中波长最长的红色光，居于此可见光谱的一端；最短的是紫色光，居于可见光谱的另一端。它们和其他各色光的波长大体如下：红色光 750～630nm，橙色光 630～600nm，黄色光 600～570nm，绿色光 570～490nm，青色光 490～460nm，蓝色光 460～430nm，紫色光 430～380nm（见图 8.27）。

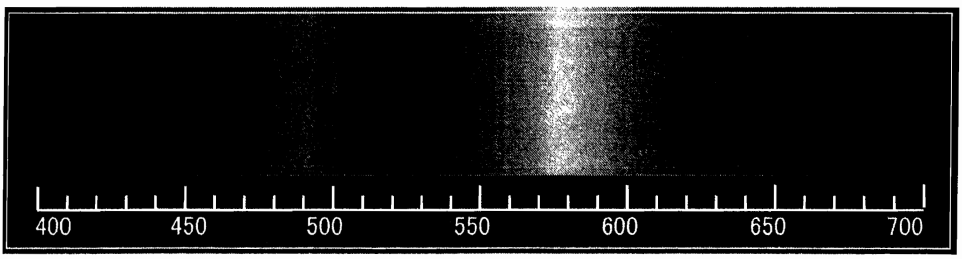


图 8.27　可见光谱的波长与颜色分布

2. 物体的色

物体的色是人的视觉器官受光后在大脑的一种反映。

物体的色取决于物体对各种波长光线的吸收、反射和透视能力。物体分消色物体和有色物体。

1）消色物体的色。消色物体指黑、白、灰色物体，它对照明光线具有非选择性吸收的特性，即光线照射到消色物体上时，被吸收的入射光中的各种波长的色光是等量的；被反射或透射的光线，其光谱成分也与入射光的光谱成分相同。当白光照射到消色物体上时，反光率在75%以上，即呈白色；反光率在10%以下，即呈黑色；反光率介于两者之间，就呈深浅不同的灰色。

2）有色物体的色。有色物体对照明光线具有选择性吸收的特性，即光线照射到有色物体上时，入射光中被吸收的各种波长的色光是不等量的，有的被多吸收，有的被少吸收。白光照射到有色物体上，其反射或透射的光线与入射光线相比，不仅亮度有所减弱，光谱成分也改变了，因而呈现出各种不同的颜色。

3）光源的光谱成分对物体颜色的影响。当有色光照射到消色物体时，物体反射光颜色与入射光颜色相同。两种以上有色光同时照射到消色物体上时，物体颜色呈加色法效应。如红光和绿光同时照射白色物体，该物体就呈黄色。

当有色光照射到有色物体上时，物体的颜色呈减色法效应。如黄色物体在品红光照射下呈现红色，在青色光照射下呈现绿色，在蓝色光照射下呈现灰色或黑色。

3. 原色与补色

1）色光三原色。在颜色光学中，把红光、绿光、蓝光称为色光三原色光。等量的红光、绿光、蓝光相加即产生白光。

2）色光补色。任何两种色光相加后如能产生白光，这两种色光就互称为补色光。红、绿、蓝三原色光的补色光分别为青、品、黄色光。红光与青光、绿光与品红光、蓝光与黄光互为补色光。图8.28为色光三原色及其补色。

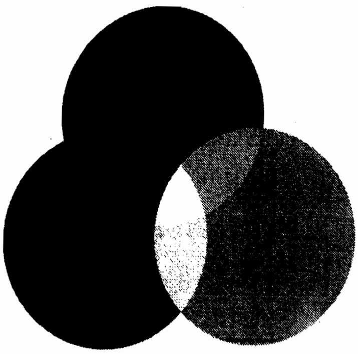


图8.28　色光三原色及其补色

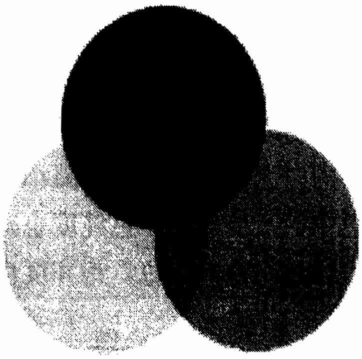


图8.29　色料三原色及其补色

3）色料三原色。在色料的调和中（如印刷过程），黄色、青色和品红色称为色料三原色。理论上，等量的黄色、品红色和青色相加即产生黑色。但实际上，由于颜料的颜色难以达到理想的纯度，因此，通常由三原色混合出来的颜色呈深灰色。也正因为如此，在原色印刷中，常常用黑色来替代三原色等量叠加的部分，所以，将这种印刷机制称之为“四色印刷”。

4）色料的补色。任何两种色料相混后如能产生黑色，这两种色料就互为补色。

图 8.29 为色料三原色及其补色。

4. *加色过程和减色过程*

色光相加后，光亮度增加，即越加越亮，因此，把色光的相加过程称为“加色过程”；色料相加后，亮度降低，即越加越暗，因此，把色料的相加过程称为“减色过程”。

5. *颜色的三要素*

颜色的三要素是色相、明度和饱和度，它们是评价颜色的主要依据。

（1）色相

也称色别，是指色与色的区别，色别是颜色最基本的特征，它是由光的光谱成分决定的，由于不同波长的色光给人以不同的色觉，因此，可以用单色光的波长来表示光的色别。

（2）明度

指颜色的明暗、深浅，通常用反光率表示明度大小。同一色别会因受光强弱的不同而产生不同的明度，同一的色别之间也存在明度的异同。人眼对不同颜色的视觉灵敏度不同，不同色别在反光率相同时，也会产生不同的明度感受。

（3）饱和度

饱和度是指色的纯度，也称色的鲜艳程度。饱和度取决于某种颜色中含色成分与消色成分的比例。含色成分越大，饱和度就越大；含消色成分越大，饱和度就越小。物体的表面结构和照明光线性质也影响饱和度，相对来说，光滑面的饱和度大于粗糙面的饱和度；直射光照明的饱和度大于散射光照明的饱和度。

色的明度改变，饱和度也随之变化。明度适中时饱和度最大；明度增大时，颜色中的白光增加，色纯度减小，饱和度也就降低；明度减小时，颜色很暗，说明颜色中的灰色增加，色纯度也减小，饱和度也就降低。当明度太大或太小时，颜色会接近白色或黑色，饱和度也就极小了。

（二）色彩的视觉心理

1. *温度感与膨胀感——暖色和冷色*

暖色具有膨胀感，冷色具有收缩感。暖色指波长较长的色（红、橙、黄）给

人以温暖感，习惯上给红色系列为暖色系列。冷色指波长较短的色（紫、蓝、绿）给人以寒冷感，称蓝色系列为冷色系列。

2. 前进感与后退感——前进色和后退色

对色相而言，暖色有前进感，冷色有后退感；对亮度而言，亮度大有前进感，亮度小有后退感；对饱和度而言，饱和度高有前进感，饱和度小有后退感。色彩的进退感是加强地图图形与背景效果的有效措施，前进色用来表示图形；利用进退感有效排列，一定程度上可表现地貌的立体感。色彩的冷暖感如表 8.1 所示。

表 8.1　色彩的冷暖感

色　彩	温度感	刺激作用
红	暖	有刺激
橙	暖	有刺激
黄	微暖	有微刺激
黄绿	中性	平静
绿	中性	平静
蓝绿	微寒	微平静
蓝	寒	沉静
蓝紫	微寒	微沉静
紫	中性	平静

3. 色彩的感情含义

人们对色彩的感情反应不尽相同，但仍有一些可供参考的规律。如表 8.2 所示。

表 8.2　人们对色彩的感情反应

色　彩	含义
红色	紧张、兴奋、热情、活泼、勇敢、暴力、危险等
橙色	快乐、欢乐、积极、健壮、收获、富裕等
黄色	光明、向上、愉快、明快、乐观等
绿色	安稳、平静、随和、纯真、和平、自然、年轻等
蓝色	沉静、冷淡、沉着、纯洁、浮沉等
紫色	优美、高贵、问候、神秘、优雅、尊严等
白色	清洁、纯洁、病态等
灰色	平静、沉默、压抑、素净等
黑色	神秘、消极、沉闷、哀悼等

4. 色彩的偏爱性

来自心理学和广告业的研究表明：4～5 岁的幼儿喜欢暖色，红色、橙色最受欢迎，蓝绿色次之；少年也喜欢高饱和度的颜色，但是六年级后，此倾向减

弱；成年人偏爱不一致，通常喜欢波长较短的色，受多种因素的影响。

5. 色彩的组合感受

色彩的组合感受一般是指图形与背景的色彩感受。最满意的组合是具有较大的亮度差别。高亮度对比能使图形——背景组合满意；明亮或深浅的背景较满意，中等亮度的效果差；理想的图形色应是从绿到蓝的任何色相，或包含大量灰色的色相。表 8.3 是适合于建立图形与背景的色彩组合。

表 8.3　适合于建立图形与背景的色彩

图形色	最佳背景色	最糟背景色
中红	墨绿	艳紫红
棕橙	墨绿	艳紫红
浅草黄	墨绿	艳红
强淡绿	墨绿	中绿
中绿	淡灰红	灰蓝
中蓝绿	黑	中绿
中绿蓝	艳黄	中绿
极淡蓝	黑红	强黄绿
棕紫红	黑	艳橙
中灰	淡红	灰蓝

（三）色彩设计效果

1. 前进色与后退色效果

在视觉效果上，波长长的颜色（如红色）看上去较近，波长短的颜色（如蓝色）看上去较远。同样，亮度高的颜色看上去近，亮度低的颜色看上去较远。高饱和色看上去近，低饱和色看上去远。这些效果是相对而言的。

2. 同时对比色效果

当两种不同的颜色并排放置时，会产生各自的互补色的视觉效果，称之为同时对比。如图 8.30 所示，在黄色背景上，橙色看上去偏棕色，而在蓝色背景上，橙色看上去偏黄色。

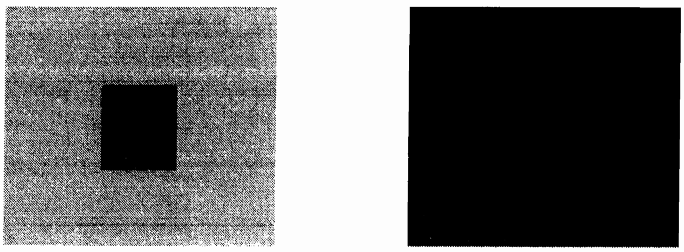


图 8.30　同时对比

3. 冷色与暖色效果

波长较长的颜色（如红、黄、橙色系），看上去暖和，称之为暖色系；波长短的颜色（如紫、蓝、绿色系）看上去寒冷，称之为冷色系（如图 8.31）。

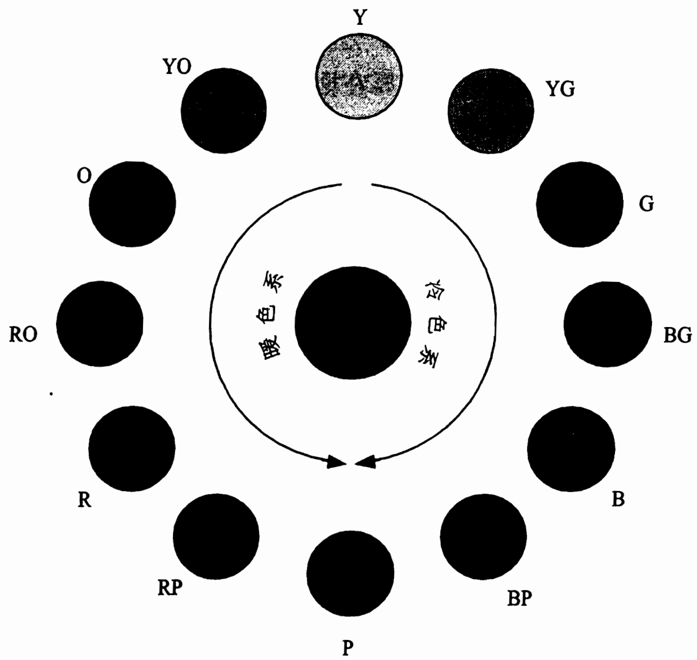


图 8.31　颜色的冷暖感

二、地图上色彩的作用

（一）色彩能提高地图的视觉感受和传输效果

色彩是一个很重要的地图视觉变量，可以产生多种视觉效果。因此色彩的应用可以使地图图面层次分明、符号清晰易读、重点突出，改善地图阅读的视觉层次。例如利用色相可以表达制图对象视觉层次和类别，利用亮度可以表达制图对象定量特征，利用色彩的空间感即色彩远近感表示制图对象的变化和层次。

同时，色彩还可以丰富地图表达的内容，使得单色图无法多重表达的内容可以叠置在一起表示，不仅能描述各自的直接信息，还可以表达出相互之间的深层次的关联关系，增大了地图的信息载负量，使读图者获得更多的信息和知识。

另外，色彩的合理配置也是增强地图传输效果的有效途径。例如对比色的配合可以增强图形与背景的效果，突出主题内容；同种色的配合容易获得协调的图面效果，增强地图的整体感，达到最佳的传输效果。

（二）色彩具有使图形符号简化和要素清晰的功能

地图表示的内容十分丰富，运用的点、线、面符号非常多。在单色地图上，不同的点状制图对象只能依靠符号的形状和纹理来区别；不同的线状制图对象只能依靠符号的形状、粗细、结构以及添加纹理来区别，有时分类分级过多时还难以区分；不同的面状制图对象只能依靠在面状范围内叠加不同的点或线符号的形状和纹理来区别。这样就使得原本已经较复杂的地图符号系统更为庞大和复杂，甚至迫使许多内容无法表示。色彩的使用大大简化了符号系统，例如在地图上同是一条细实线，黑色表示铁路、红色表示公路、蓝色表示岸线、棕色表示等高线等；同是一个三角形，红色表示铁矿、黄色表示金矿、白色表示银矿等；同是一个多边形区域，红色表示大豆区、黄色表示玉米区、蓝色表示小麦区等。简单的符号加不同的色彩就能很好地区别不同的制图对象，并且使各要素内容区分明显，清晰易读。

（三）色彩可以提高地图的艺术价值

地图是科学与艺术的结晶。当色彩设计既能正确表达地图内容，又能给人一种和谐的审美感受时，它才是一幅真正成功的地图作品。色彩配合协调美观的地图，可以使人阅读时得到美的享受和熏陶。更重要的是它可以吸引读者的注意力，自觉地去看、去读、去认识和理解地图内容，从中很容易直观地感受到地图内容的主次、要素质量的差异、要素数量等级的变化等，最终获取相关的信息和知识。这也是地图艺术价值的真正体现，而其中色彩的作用是无法替代的。

三、地图色彩设计的要求

（一）基本要求

1. 地图的色彩应与地图的用途相协调

地图的用途不同，对色彩的要求也有所差别。因此要根据用户的特殊需求进行色彩设计。例如从地图内容上来看，普通地图除了阅览、查询外，大多作为制作专题地图的底图，用于标绘各种专题信息，因此普通地图的色彩要求清淡、浅亮，整体协调性强，而且普通地图的用色一般有一个约定俗成的标准；专题地图的色彩要突出主题，因此主要要素颜色浓而重，次要要素浅而淡，甚至有些不用色，专题地图的用色没有固定的标准；对于一些特殊地图，像地质图、旅游景点图、儿童地图、动物与植物地图，其色彩更为浓艳和特殊。从地图使用方式上来看，挂图颜色浓而重，桌面用图浅而淡。

2. 地图的色彩应层次分明突出重点内容

色彩是否与内容相适应相平衡，是色彩设计很重要的问题。在地图色彩设计

中，首先要根据不同的设色对象、目的及功能要求确定图幅或图组的主色调，然后再进行局部的色彩设计。这时，如何把握好各类色彩的对比与调和关系是关键所在。图面上各种重叠的点、线、面状色彩对比关系处理得好，图面充满生机、主题突出、富有层次感，色彩明亮；倘若处理不好，则图面暗淡，主题形象模糊，缺乏形式美感。所以，地图的色彩应层次分明，突出重点内容，其中色彩对比是色彩设计中很重要的手法。

色彩对比有明度对比、色相对比，纯度对比、冷暖对比、色面积对比、色形状对比，色位置对比等类型。其中，特别要注重色彩的明度对比，不同明度的色彩组合便构成色彩的层次。重点内容应位于色彩的第一层次，以达到突出主题内容的目的。

3. 地图的色彩应系统协调突出特色

地图色彩表达的是地图内容的分类分级特征，即质量和数量特征的变化。因此，地图的色彩必须有其明显的系统性，否则就会给读者带来杂乱甚至错误的信息。

地图色彩的协调是指图面上两种以上的颜色的组合在视觉上达到令人满意的效果。协调可以是颜色排列的某种秩序，Ostwald 认为：秩序越简单，协调性越好。协调也可以是颜色间有规律的变化。

不同的国家和地区对地图的设色都有一定的习惯用法和喜好，不同用途的地图也都有各自的设色体系。但是地图色彩设计并不是一成不变的，每个设计者、每一幅地图都应有自己的特色，这样才能不断地提高地图的科学性和艺术性。

（二）地图上颜色的习惯用法

在地图设计中，有些颜色经过长期的使用已经形成了一种习惯。地质图除外，它的用色方案是全世界统一的，1881 年在意大利的波伦亚的一次国际地质学术会议上正式确定。我们在设计颜色时，应该尽量遵循这些习惯性的用法。例如：蓝色表示水系（所有地图）；红色表示温暖、蓝色表示寒冷（气候图）；黄色和褐色表示干燥、无植被（分层设色）；棕色表示地表，如等高线（地形图）；绿色表示植被（所有地图）；红色表示正值，蓝色表示负值（气压图）等。

四、地图符号的色彩设计

设计地图符号色彩时，除了考虑一般的设色原则外，还要考虑工艺条件和颜色之间的可辨别程度，考虑地图颜色的选择应与数据的分类、分级数保持协调关系，考虑使用符号的类型（点、线、面）与其颜色的相互统一和协调。下面分别对点、线、面符号的色彩设计加以论述。

（一）点状符号色彩设计

1. 利用不同色相表示现象的类别即质量差异

点状符号多采用对比颜色。例如，工业分布图中，在半径相同的圈形符号内分别填入灰、蓝、红、黄色以代表金属工业、机械工业、化学工业、食品工业。又如，在用点值法表示玉米、小麦分布范围的图上，分别用红点、蓝点代表玉米和小麦。由于色相对比强烈，玉米和小麦的分布清晰易读。

2. 点状符号的色彩应尽量与地物的固有色相似，便于读者引起联想

如火力发电站用红色，水利发电站用蓝色，森林用绿色。当然，并不是图上每种要素均能同地物的自然色取得一致，它还受到多方面因素的影响。例如，在同一幅图上用点值法表示三种作物，分别用红、蓝、黑点代表小麦、大豆和棉花。若考虑棉花的固有色，应该用白色表示，但为了与浅淡的底色形成对比，而用黑色表示。

3. 点状符号的色彩必须考虑地图用途的要求

挂图用色多偏鲜艳、浓烈，桌面用图多偏于和谐、素雅。专题要素点状符号要鲜明、醒目、突出；而作为底图的点状符号，则要求色彩素雅、清淡。此外，还要考虑符号本身的图形、大小以及印刷的经济、技术条件等。

4. 点状符号的色彩面积应与饱和度成反比

点状符号色彩面积较小，需要加强饱和度，多用原色、间色，少用复色，使符号与符号之间有一个鲜明的对比，尤其在结构符号中，多用对比色表示各种结构。

（二）线状符号色彩设计

1. 利用色彩对比，表达主、次要素，达到图面层次分明、清晰易读

线状符号色彩的设计，首先应确定各类线状物体（如境界、交通线、河流、岸线等）本身的主、次，然后利用色彩对比，表达主、次关系。例如，在行政区划界线图上，各级境界线用色应浓艳、醒目，常用红色、黑色、白色（深底留白线），而河流、岸线、道路等属于辅助要素，其符号一般用淡蓝色和青冈色表示；反之，在气候图中，等温线用红色（或其他鲜艳色）表示，而境界线则用黑点组成的细虚线表示。

2. 利用不同的色相表示制图现象的质量差异

地图上可以利用不同的色相，来区分线状物体或现象的质量差异。例如，普通地图上，用棕色表示等高线、蓝色表示等深线，用来区分陆地和海洋的高度变化；专题地图上可以用黑色表示大车路，红色表示气温图上的等温线，蓝色表示等降雨线等等，从而区分不同性质的制图物体或现象。

3. 利用色彩的深浅即色彩的饱和度变化表示专题要素的发展动态

对于有些专题要素，例如各种进攻路线、人口的迁移变化等，可以用运动线符号的宽窄表示数量大小、用色彩的深浅表示其变化的线路，从而较生动地描述这些专题要素的发展动态。

（三）面状符号色彩设计

1）反映现象质量特征的面状符号色彩，设色时应尽量考虑到能符合自然色彩（或具有一定的象征性）及相互间的质量差别。例如，在世界气候图上，表示各类气候区的分布范围，通常采用象征性色彩。热带气候区用朱红色调，干燥气候区用中黄、柠檬色调，温带气候区用黄绿、浅绿色调，亚寒带气候区用紫色调，寒带气候区用青色调。另外，也可以利用颜色的冷、暖对比，反映气候现象随纬度变化的地带性规律。再如，在政区图上，要显示各区域分布的范围及相互关系，设色时应使它们之间具有较明显的差别，并使整个图面协调均匀。因此，不宜采用类似色，尤其是相邻区域，应多用对比色配合。为避免设色过多，不相邻区域可以重复采用同一底色。

2）表示现象数量特征的面状符号色彩，应利用色彩的饱和度变化或冷暖色变化进行设色。当数值增大时，应相应地增加其面状色彩的饱和度，或者使色彩向偏暖方向变化；当数量减少时，则相反。例如，人口分布图，随着人口密度增大，颜色由浅黄向橙红过渡；反之，颜色由黄向浅蓝过渡。再如，地形图上，随着地势的增高，分层设色的颜色由浅向深的过渡变化。

3）对于起衬托作用的底色，要求颜色浅淡。一方面，底色不能给读者以刺目的感觉；另一方面，底色不能影响图上其他主要要素的显示，应该能与它所衬托的各专题要素的颜色相协调。地图上常用不饱和色或间色，如淡黄、米色、淡红、肉色、淡绿，也可采用淡紫色、浅棕色等复色色调来表示。

第三节　地图注记及其设计

地图注记也属于地图符号，它是地图内容的一个重要组成部分，也是制图者和用图者之间信息传递的重要方面，地图注记设计的好坏，直接影响地图信息的传输效果。地图注记设计包括的内容很多，像地图注记的功能与特点、注记字体的分类与特点、地图字体的设计与排版、地名的解译和译名要求、地名注记的配置要求、地图注记的生产等等。这里主要讨论两个问题，即地图注记的作用与种类、地图注记的配置原则和方法。

一、地图注记的作用与种类

(一) 地图注记的作用

地图符号用于显示地图物体（现象）的空间位置和大小，地图注记用来辅助地图符号，说明各要素的名称、种类、性质和数量特征等。其主要作用是标识各种制图对象、指示制图对象的属性、说明地图符号的含义。

1. 标识各种制图对象

地图用符号表示地表现象，同时用注记注明各种制图对象的名称，采用注记与符号相配合，准确标识制图对象的位置和类型。例如，北京、南极、38°（北纬）、大西洋等各种地理名称。

2. 指示制图对象的属性

各种说明注记可用于指示制图对象的某些属性（质量和数量）。常用文字注记指示制图对象的质量，例如，森林符号中的说明注记“松”，补充说明森林的性质以松树为主。也可以用数字注记说明制图对象的数量，例如，河宽、水深、各种比高等。

3. 说明地图符号的含义

通过各种图例、图名的文字说明，使地图符号表达的内容更加容易被理解和接受。

(二) 地图注记的种类

地图上的注记可分为名称注记和说明注记。

1. 名称注记

是用文字注明制图对象专有名称的注记。如图 8.32 所示的居民地名称注记“塔子沟”、山峰名称注记“四角山”等。

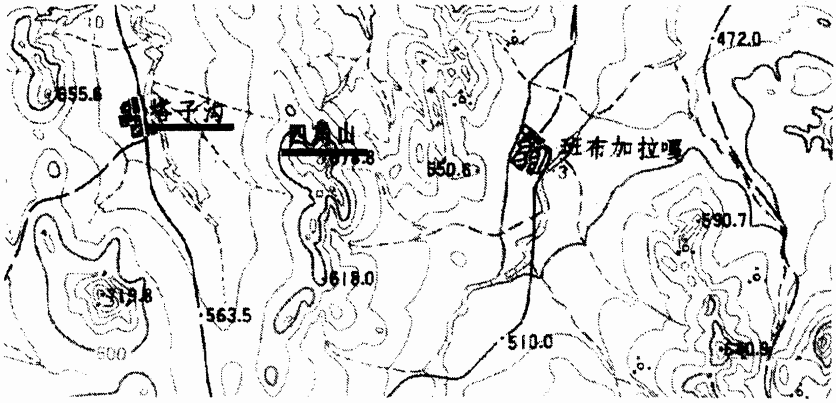


图 8.32　名称注记

2. 说明注记

说明注记分为文字注记和数字注记两类。

文字注记是用文字说明制图对象的种类、性质或特征的注记，以补充符号的不足，当用符号还不足以区分具体内容时才使用。例如说明海滩性质的注记“泥、沙、珊瑚”等。

数字注记是用数字说明制图对象数量特征的注记。例如经纬度、地面高程、水深、路宽、桥长等等。如图 8.33 所示的道路的宽度 9（12）、桥的长度 24，宽度 12，载重量 13 等等。

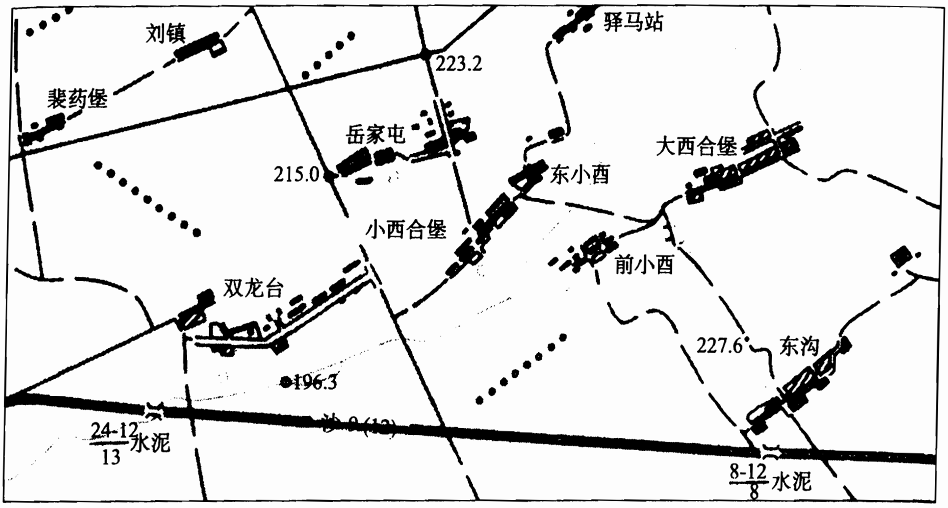


图 8.33　说明注记

（三）地图注记的设计

这里讨论的地图注记设计，主要包括地图注记字体、字色、字大、字间隔的确定。

1. 地图注记的字体

地图上使用的汉字字体主要有宋体及其变形体（长、扁、倾斜等）、等线体及其变形体（长、耸肩）、仿宋体、隶体、魏碑体及美术体等。

地图注记的字体用于区分不同内容的要素。例如，水系物体的名称注记一般采用左斜宋；居民地名称一般采用等线体（或细等线体）、宋体、仿宋体等；山脉名称一般采用耸肩等线体。如图 8.34 所示。

2. 地图注记的颜色

地图注记的颜色是为了进一步强调分类的效果和区分层次。地图上，注记的颜色有约定俗成的规定，例如，水系注记用蓝色，居民地注记用黑色，地貌注记

字体		式样	用途
宋体	正宋	成都	居民地名称
宋体	宋变	湖 海 长 江	水系名称
宋体	宋变	山 西 海 南	图名、区划名
宋体	宋变	江苏 杭州	图名、区划名
等线体	粗中	北京 开封 青州 泉	居民地名称 细等线说明
等线体	等变	太 行 山 脉	山脉名称
等线体	等变	珠穆朗玛峰	山峰名称
等线体	等变	北 京 市	区域名称
仿宋体		信阳县　周口镇	居民地名称
隶体		中国　建元	图名、区域名
新魏体		浩陵旗	图名、区域名
美术体		台湾省图	图名

图 8.34　地图注记常用的几种字体

用棕色，行政区划名称用红色等。对于特殊的专题地图，可以参照这些约定，进行设计。

3. 地图注记的字大

地图注记的字大用于反映被标注对象的重要性等级或数量等级。字的大小要根据地图的用途、比例尺、图面载负量、阅读地图的可视距离等因素综合确定。对于一种要素可以先确定最小和最大等级的字号，然后根据要素的特点确定分级数，注意级差要能使人眼辨别出来。

4. 地图注记的字隔

地图注记的字间隔是指字与字之间的间隔距离。在地图上字的间隔与所表达要素的分布特点有关系。对于点状物体，多采用水平无间隔方式；对于线状物体，则要根据物体的长度拉大间隔，距离很长时，可分段重复注记；对于面状物体，要根据其面积大小确定字的间隔，面积很大时，可分段重复注记。

二、地图注记配置的原则和方法

（一）地图注记配置的原则

地图注记的配置就是选择注记的位置，一般应遵循的原则是：注记位置应能明确说明所显示的对象，不产生异义；注记的配置应能反映所显示对象的空间分布特征（集群式、散列式、沿特定方向）；地图注记不应压盖地图要素的重要特征处。

1. 点状要素注记配置要求

对于点状物体或不依比例尺表示的面积很小的物体（如小湖泊、小岛等），其注记多用水平字列无间隔排列。配置注记的最佳位置是符号的右上方、右下方，最好不要将注记放在符号的左边。位于河流或境界线一侧的点状地物的名称应配置在同一侧。海洋和其他大水域岸线上的点状地物，一般应将地名完全水平配置，不要压盖岸线。如图 8.35 所示的居民地名称北郭丹、万安等。

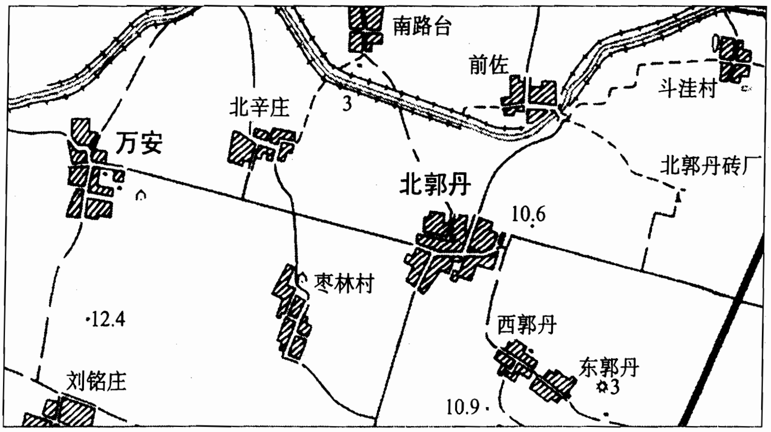


图 8.35　点状物体注记的配置

2. 线状要素注记配置要求

对于线状的和伸长的地物（如河流、考察路线、海峡、山脉等），多用雁形字列或屈曲字列，其注记与符号平行或沿其轴线配置。如果线状要素很长时，可沿要素多处重复注记，以便辨认。线状要素注记的理想位置是要素的上方，最好

能沿水平方向展开，不要使注记挤在要素中间，如果可能，河流注记的倾斜方向最好与河流流向一致，如图 8.36 中的“长江”、“金沙江”等。

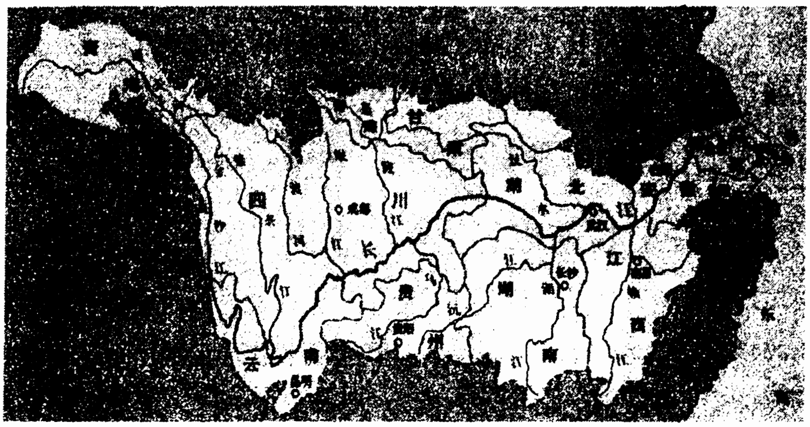


图 8.36　线状物体注记的配置

3. 面状要素注记配置要求

对于面状地物或在地图上占据很大面积的制图对象，例如国家、省的行政区划名称。其注记配置在相应的面积内，沿该轮廓的主轴线配置，成直线（如图 8.37)、雁形或屈曲字列，注记配置的空间要能使要素的范围一目了然。



图 8.37　面状物体注记的配置

（二）地图注记配置的方法

目前在数字制图过程中，地图注记的方法包括自动注记和交互注记两种，自动注记的难点在于注记的自动定位。常遇到的问题是，注记速度慢、注记效果不理想。因此，目前自动注记的做法都是希望在尽量短的时间内，得到尽可能好的

注记效果。这里主要对地图自动注记需要考虑的因素以及点、线、面要素注记自动配置和交互配置常用的方法加以介绍。

1. 地图注记自动配置需要考虑的因素

(1) 根据几何特征类型分层处置

在进行注记时，由于地物几何特征的不同，自动处理的算法、思路、数据的存储结果会有很大的不同，这意味着，不同特征类型的要素有完全不同的处理方法。例如，点要素的注记通常是环绕点位进行，主要考虑与注记点结合的紧密程度，与其他注记是否冲突、压盖；而线要素的注记则以沿线要素形状分布为宜，当然也要考虑与其他注记冲突和与其他要素压盖的问题；面状要素又可以分为面状团（如居民地）、小面积面状、大面积面状和条形面状。各种情况要进行不同的处理，面团状要求沿着外轮廓线注记；小面积面状宜作点状要素处理；大面积面状需要沿主骨架线注记；条形面状宜沿该条状的外沿形状注记。因此注记配置原则应考虑分成点、线、面三种不同的几何类型分别进行处理。

(2) 点、线、面注记的优先级

在地图注记中，由于涉及到多种特征类型的多种要素，因此有一个综合平衡和优先考虑的问题。一般的顺序是先点、后线、再面。根据不同的输出要求，可能有不同的优先级顺序。

(3) 冲突避让优先级

理想的注记位置是所有居民的注记都分布在居民地的右上方，所有线状注记都分布在河流右侧或居中且均匀分布，面状注记分布在居民地的周围居右且结合紧密。当无法在理想位置配置时，必须通过调整其位置来解决注记冲突问题。冲突避让的优先级，一般由地物本身的等级属性来决定。因此，在进行自动注记之前，需要根据用图要求，对冲突避让优先级先给出一个综合的考虑。

(4) 压盖避让优先级

编图时注记完全不压盖地物是不可能的，例如居民的注记可能压盖河流或道路等。因此，与处理冲突避让优先级一样，必须根据用图要求，对压盖避让优先级，在编图前也要先给出一个综合的考虑。

(5) 屏幕显示与图纸输出

对于图纸输出，应按相应的规范或规定确定注记参数。对于屏幕显示，由于计算机屏幕显示可以方便地进行缩放、漫游，所以注记参数可以更为灵活处理，在给出系统缺省值的情况下，再提供方便的交互式手段让用户可以根据自己的需要进行设定和改变。

2. 地图注记自动配置的方法

根据地图注记的配置原则，由计算机自动判断注记的字体、字大、字色等参数，确定注记的定位点。然后按照优先级顺序依次对优先方向作出判断，看是否

压盖其他重要地物（境界的关键点、河流转折点、重要方位物等）、是否与其他注记产生矛盾、是否与同种颜色的要素重叠等，直至找到合适的注记配置位置为止。

（1）点状要素自动注记方法

目前，在自动注记的研究中，点状要素的注记是研究得最多的，这是因为一般地图上点状要素最多，实现起来也比线状、面状要素容易。而且，点状要素注记的研究也可用于线和面状要素。点状注记通常有矢量和栅格两种处理方式，解决冲突和压盖的方法很多，这里主要介绍贪心法、回溯法和神经元网络法。

贪心法的过程是：首先，对于每一个正在注记的点状要素，一次检查四个候选位置（右、上、左、下），计算若选择此候选位置目标函数（目标函数是各注记所选择的候选位置权值之和加上所有注记压盖的权值之和）的值；然后，选择一个使目标函数最小的候选位置作为注记位置。

回溯法的过程是：首先，根据压盖情况，选取注记点位；然后，进行冲突检测，进行回溯，解决冲突。

神经元网络法的过程是：首先，考虑压盖的冲突情况，选择全局较优点位；然后，进行冲突与压盖检测，解决冲突，减少压盖。

（2）线状要素自动注记方法

线状要素的注记也有基于矢量和栅格两种数据结构的注记方法。线状要素注记之间彼此冲突的问题已不存在，但要考虑线状要素注记与已有点状要素注记的冲突问题，以及与其他地物的压盖问题。前者因为线状注记位置的允许空间比较大，一般容易解决；后者通过设立压盖优先级可以解决。线状要素注记要解决的主要难点在于提高平行线生成的精确性，以及提高处理冲突和压盖时的搜索比较速度。线状要素注记方法的一般过程是（以河流为例）：

第一步，提取河流空间点位及相应注记的参数数据；

第二步，计算河流长度，对河流进行分段；

第三步，为各段求取左、右（或上、下）平行线；

第四步，沿着平行线搜索第一组可选位置；

第五步，检测该组位置是否与已有注记发生冲突，如有，则该组位置作废，转到第四步，否则转到下一步；

第六步，记录该组位置及与已有地物的压盖情况；

第七步，选出 N 组位置，转到下一步，否则转到第四步；

第八步，比较已经选出各组位置的压盖情况，选取最佳位置，结束。

（3）面状要素自动注记方法

面状要素的自动注记问题可以归并为点要素或线要素的注记。

对于团状居民地的注记，在提取外轮廓线后，按点状要素注记方法实施；对

于小的湖泊、面状水库等，根据其形状和大小，按点或线要素注记方法实施。

对于双线河流和狭窄而细长的湖泊、水库等，按线要素注记方法实施。

对于大的面状湖泊、行政区域等，在提取骨架线后，沿着骨架线，按线要素注记方法实施；面积太小、主骨架线太短、容纳不下注记时按点要素注记方法实施。

3. 地图注记的交互配置方法

当注记不能自动配置时，可以采用交互式的方式进行。其基本方法是，首先对注记的字大、字体、字的颜色和字的间隔等参数进行人工设置，然后用计算机鼠标，将注记移动到相应的位置，同时记录相关参数和注记定位点坐标。这种方法的关键是设计好人机交互界面，便于用户灵活、方便地选择字体、字大等参数并可进行快速、准确的注记定位。它适合任意地图比例尺点、线、面要素的注记配置。

第九章　普通地图内容表示方法

第一节　普通地图概述

普通地图是以相对平衡的详细程度表示地面各种自然要素和社会经济要素的地图。普通地图的内容包括数学要素、地理要素（自然要素与社会经济要素）和图廓外要素三大类（图 9.1）。

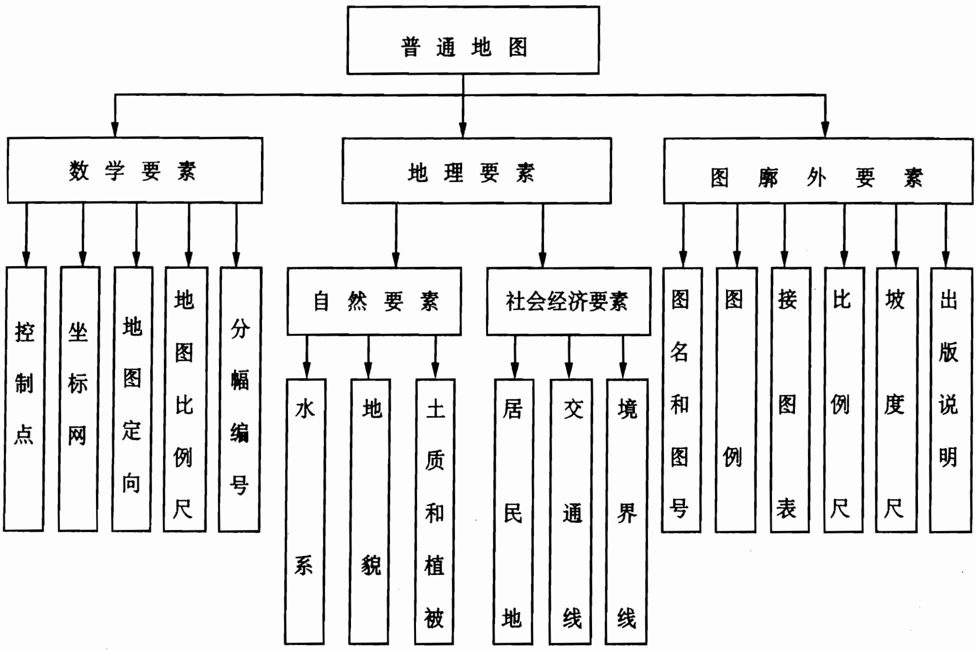


图 9.1　普通地图的内容

一、普通地图的基本特性

普通地图除具有地图的基本特性（具有严密的数学基础、运用地图语言表示事物、实施科学的制图综合）外，还具有以下几个基本特征。

1. *以相对平衡的详细程度表示制图区域的一般特征*

普通地图以相对平衡的详细程度表示制图区域中自然和社会经济要素的一般特征，如水系、地貌、土质植被、居民地、交通线、境界线等要素，不突出表示其中的某一种要素。因而，普通地图广泛用于部队作战指挥、国民经济建设和科

学文化教育等许多方面，也是编绘小比例尺地图和专题地图的基本资料。

2. 具有高精度的可量测性

普通地图由于具有严密的数学基础，强调的是物体的定位特征；同时，可以从地图上获取地面物体的大小、长短、方向、坡度、面积和距离及其他数据信息。

3. 以描绘人类活动的可见环境为主

表示这类环境要素时，大多采用图案化的符号，与实地物体图形具有相似性或者象征性，如图 9.2、9.3 所示。普通地图符号的图形特征具有象形和会意的特点，符号的尺寸大多与地图比例尺成比率，在地图上的位置通常代表着实地物体的真实位置，从而使地图具有准确的可量测性。

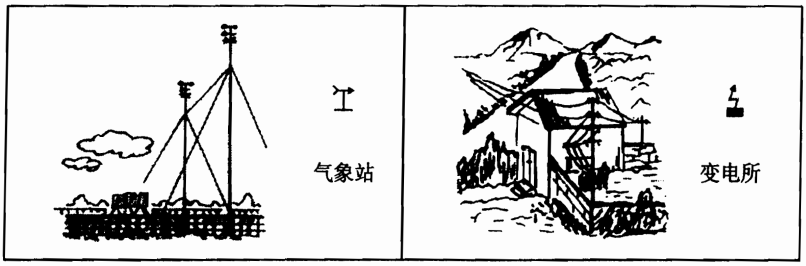


图 9.2　象征符号

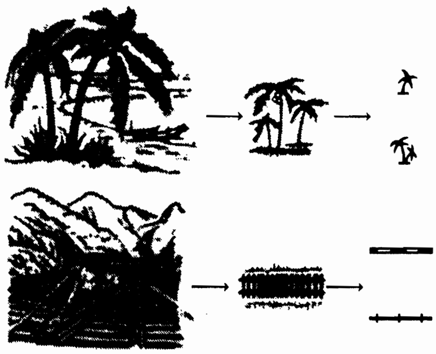


图 9.3　图案化示例

4. 印色的习惯性

普通地图的印色具有习惯性，特别是我国大比例尺地形图一直采用四色印刷。黑色表示人工物体，如居民地、道路、境界、管线等；蓝色表示水系要素，如江、河、湖、海、井、泉等；棕色表示地貌与土质，如等高线、各种地貌符号等；绿色表示大面积植被，如森林、竹林、果园等。现在，随着人们审美观念的

变化和数字地图出版技术的发展，地形图的设色也有值得研究之处。如果将地形图印色的黑、棕、蓝、绿系列改为黑、红、蓝、绿系列，并且调整图上各种颜色的用色比例，充分利用各种颜色的多种网点层次，丰富地形图色彩，增强其艺术性，既可提高地形图的清晰易读性，又能改善用图者读图时的心态环境，从色彩学角度来看，这样更符合科学配色原则。

二、普通地图的类型

普通地图按其比例尺和表示内容的详细程度，可分为地形图和地理图。

(一) 地形图

地形图通常是指比例尺大于或等于 1∶100 万，按照统一的数学基础、图式图例，统一的测量和编图规范要求，经过实地测绘、航空摄影测量或根据较大比例尺地形图并配合其他有关资料编绘而成的一种普通地图。

1. 地形图的特点

统一的数学基础。各个国家都选用了一种椭球体数据，作为推算地形图数学基础的依据。我国 1953 年采用克拉索夫斯基推算的椭球体数据。1978 年决定采用 GRS1975 年基本大地数据。地形图还必须有统一的投影，统一的大地坐标系和高程系，有完整的比例尺系列。我国国家基本地形图，统一采用“1980 年国家大地坐标系”和“1985 年国家高程基准”。这些构成了地形图统一的数学基础。

统一的规范和图式符号。地形图是按照国家统一的测量、编绘规范和相应比例尺的地图图式测制的。只有这样，才能确保各部门分别完成的地形图在质量、规格方面的完全统一。

具有完整的比例尺系列和分幅编号系统。我国规定将 1∶1 万、1∶2.5 万、1∶5 万、1∶10 万、1∶25 万、1∶50 万和 1∶100 万普通地图列为国家基本比例尺地形图。国家基本地形图，按统一规定的经差和纬差进行分幅，并在国际百万分之一地图分幅编号的基础上，建立了各级比例尺地形图的图幅编号系统。

几何精度高、内容详细。地形图是国家经济建设和国防建设的基础资料。因此在图面能负载的前提下，应尽量详细和精确地表示水系、地貌、居民地、交通网、土质植被和境界线的分布，因而，在图上可以提取比较详细的信息，获得高精度的数据。

2. 地形图的作用

国家系列比例尺地形图也是我军各军兵种的主要用图，下面我们重点介绍上述七种比例尺系列地形图在军事上的主要用途和使用方式，兼述它们在国民经济建设中的作用。

1∶1万比例尺地形图是局部地区的实测地图。图上各种地物的平面位置和高程数据都具有较高精度，真实地表达了地形的细部，详细地显示了物体的内部结构、形态特征、数量指标以及它们之间的相互联系。所以，军事上是作为重点地区（要塞、基地、城镇、国防施工和重点设防区等）的基本战术、技术用图，也是工程兵用来拟定工程计划和实施工程作业的主要用图。

1∶2.5万、1∶5万、1∶10万比例尺地形图是地形测量或航空摄影测量的直接成果。地图上详细表示了各要素的分布、图形特点、数量与质量特征；准确地表示了各种具有方位意义的独立地物；正确表示了各要素的位置及其相互关系；各要素表示的详细程度与地图比例尺相适应，可进行各种量测，获取有关数据；尤其是突出表示了有战术意义的地形要素。这三种比例尺地图都属于战术用图，供各军兵种师、团级指挥员研究地形，集结兵力，部署火力和指挥作战之用。根据比例尺不同，它们也分别是炮兵、防化兵和机械化部队实施技术性能的主要用图。

1∶25万（1∶20万）、1∶50万比例尺地形图是根据实测地形图及一些兵要资料和外业调查资料补充编制而成的。由于所含范围扩大，地图以反映全区总的自然地理条件和社会经济状况为主，明显而突出地表示区域内具有典型特征的地物和地貌，精确表示各要素的位置及相互关系。这类地图主要作为战役图使用。供军以上司令部了解战区的地形概况，拟定战役计划，分析战场情况，实施战场机动，组织战役指挥时使用。以这两种比例尺为基础编制的协同图，是合成军队研究协同作战方案，指挥协同作战的基本用图。

1∶100万比例尺地形图是地形图系列中比例尺最小的地形图，它是完全由有关资料通过内业编绘成图的。这种图作为一种普通地图，要求全面地反映地区情况，在质量和数量特征上与地形图有了较大的区别，一些与战术有关的地物和数据已无法表示，各要素的内容也有大幅度的简化，但是，凡是表示了的内容仍要求保持正确的相关位置和与地图比例尺相适应的精度。该比例尺地图从宏观上全面而概略地反映地区总体情况，显示区域的主要地理特征，并保持区域间的一定程度的可比性。这种地图可作为战略用图，供统帅部制定战略决策，研究基本战略方向，拟定战略规划，进行战略部署时使用。

从上面介绍的情况可以看到，地形图在军队中的使用与各军兵种特点及各级机关的任务范围有关。

地形图在国民经济建设与国家行政管理方面也有十分广泛的应用。例如：作为城镇、工业、交通、农业等方面的建设规划和管理用；作为交通、水利、厂矿和各类资源的勘察、设计、开发和施工使用；用于农业中的地籍管理、土地利用和土壤改良等；当作许多学科的科学研究、宣传教育和某些实际工作的工具，等等。

（二）地理图

地理图，也称一览图，通常指的是比例尺小于1：100万的普通地图。地理图的内容概括，图形经高度制图综合，反映广大区域内各种自然地理现象的主要特征和政治经济形势。地理图没有规定的比例尺系列，没有统一的地图投影、分幅编号和规范图式系统，制图区域范围根据任务要求而定，幅面大小不一，常以单幅图、多幅拼接图、图集（册）等形式出现，可以桌上阅读，也可以张挂使用。地理图的地貌要素多以等高线加分层设色表示，有的还配以晕渲，增强立体感。地物因地图的概括程度比较高，多以抽象符号表示。

1. 地理图的特点

地图内容的高度概括性。地理图的主要任务，是向用图者提供制图区域自然与社会经济要素的分布、类型、结构、密度对比等一般特征。这就是说，地理图让用图者更多关注的已不是地图内容的几何精确性，而是反映区域自然和社会经济要素的宏观特征及要素之间的统一协调。因此，地理图从内容上已经过大量取舍，各种要素在质量特征与数量特征方面具有高度概括性。

地图设计的灵活多样性。地理图不同于地形图，它没有统一指定的编图规范与实施细则。地理图可以针对地图的具体用途、目的和服务对象，确定地图的表现内容和表现形式。地图投影、地图比例尺选择，地图内容的选取，图例符号的设计，色彩的运用，乃至图面配置设计风格等，均有很大的灵活性。

制图资料种类的多样性与精度的不均一性。地理图的比例尺往往比较小，制图区域比较大，制图资料的种类、精度和现势性都存在很大差别。因此，必须在对制图资料进行分析、评价的基础上，确定其使用程度和使用方法，尽量做到成图后各部分内容的统一协调。

2. 地理图的类型

（1）区域性分幅图

区域性分幅图是按一定经纬差分幅的普通地理图。在某种程度上，也可以看成是系列比例尺地形图的延伸，不过这种图的比例尺、分幅方式、内容表示、整饰规格等都没有固定方案，均依任务的要求单独地设计。区域可以是一个地区，一个国家，甚至洲和全球，按一定的经纬差分幅，以单幅图的形式出版，供桌上阅读参考。区域性分幅图具有重要的资料价值，是普通地图中不可忽视的一部分。以《1：100万协同图》为例，这是总参测绘局于1993年开始陆续编制出版的一套大区域的分幅图。地图分幅在南、北纬度0°到60°范围内，按纬差4°、经差6°分幅；在纬度60°至68°范围内，按纬差4°、经差12°分幅；在纬度68°至76°范围内，按纬差4°、经差15°分幅；在纬度76°至88°范围内，按纬差4°、经差24°分幅；纬度88°以上为一幅图。这样规定的目的，是使每幅图的幅面大体趋于

一致。该图采用双标准纬线等角圆锥投影，主要供陆、海、空三军协同作战用，地图内容各要素的表示考虑三军协同用图的特点，在满足以陆军为主的前提下兼顾海、空军用图。所以，地图负载的各项指标高于航空图，海部要素又比1∶100万比例尺地形图详细，居民地按行政意义和人口数分级表示，地貌采用不固定等高距分层设色加晕渲表示，增强了地貌的立体效果。该图是一种具有专用特色的小比例尺普通地图。

（2）区域性全图

区域性全图是一种反映区域形势、综览全局的普通地理图。它通常以一幅图的形式，完整地表达区域的全貌，若因纸张幅面所限，可按内分幅拼接起来，使其表示的区域完整。制图的地域范围有以政治行政区划来决定的，如洲、国家、省、县等行政区域的全图；有按自然地理单元确定的，如长江流域图、华北平原图、珠江三角洲地区图等；也有按特定任务和政治事件而专门限定的区域，如西亚地区图、台湾海峡附近图、陕甘宁青地图、中国北部边境地图、南京军区地图等。区域大小有别，比例尺也就多种多样。

区域性全图主要是综览区域地理全局，所以，仍以水系、地貌、居民地、交通、境界等为其基本内容。但随着具体用途和使用方式的不同，在详略程度和表示方法上又有不少差别，内容上也各有侧重。例如作为形势图，它常常是用挂图的方式出版，主要内容就要突出些，保证图面清晰，次要内容就要较多的省略掉，符号粗大，便于张挂使用；当区域性全图是一种桌面使用的参考图时，内容就要详细些，符号小巧，线划精细，以期在不大的图面上容纳更多的内容。有时，区域性全图还兼有两方面的要求，既要符号粗大明显，突出主要内容，便于张挂使用，又要内容详细供参谋人员参考，这就要在符号构图、设色和制图技巧几方面下一番功夫，以便满足两个方面的要求。但凡是有这种要求的地图，都有一方面是主要的，否则难以实现。

这里介绍2001年由总参测绘局出版的，内分幅9全开张的《1∶300万中国军事地理图》。该图属中型军事地理挂图，主要用于了解全国总的军事地理形势，并作为标绘规划部署和其他专业资料的底图。地图采用正轴等角圆锥投影，全国地域完整，图面成横矩形。图上各内容要素的表示层次十分清楚，地貌用计算机彩色晕渲表示，使地貌、水系在宏观上突出并一目了然。该图采用全数字制图技术，不仅符号和色彩的设计，各内容要素关系的处理，图面的整饰都比以前出版的中国全图有很大改进，还同时生成1∶300万中国军事地理图数据库，为今后的修改、更新和使用创造了十分有利的条件。

（3）普通地图集

地图集是按统一的设计思想、完整协调的内容、严谨的图幅编排和统一的整饰规格编制成的多幅地图的汇集。地图集的品种很多，普通地图集是以普通地图

为主，或兼有少量专题地图的地图集。其他类型的地图集，如综合性地图集、自然地图集和专题地图集等，它们也有一定数量的普通地图。所以，地图集是普通地图当中使用范围较宽、用途较多的一种。

普通地图集是由大量反映本地区基本面貌的普通地图构成，按区域的面积大小用多级比例尺的地图组配，来反映整个世界、一个洲、一个国家或相邻的几个国家和地区的自然条件、社会经济各方面情况，并以多种形式完整而全面地表达主题。在这类地图集中，通常还有一定数量的专题地图作为序图，其中最常见的有政区图、地势图、人口分布图、气候图和交通图等，供人们全面地了解整个制图区的总况。普通地图集一般由序图、基本地图、文字说明及统计图表、地名索引等部分组成。

第二节　独立地物的表示方法

在实地形体较小，无法按比例表示的一些地物，统称为独立地物。地图上表示的独立地物主要包括工业、农业、历史文化、地形等方面的标志。

独立地物一般高出于其他建筑物，具有比较明显的方位意义，对于地图定向、判定方位等意义较大。在1∶2.5万～1∶10万地形图上独立地物表示得较为详细，随着地图比例尺的缩小，表示的内容逐渐减少，在小比例尺地图上，主要以表示历史文化方面的独立地物为主。

独立地物由于实地形体较小，无法以真形显示，所以大都是用侧视的象形符号来表示。表9.1是我国1∶2.5万～1∶10万地形图上独立地物符号的举例。

表9.1　我国地形图上独立地物符号的举例

工业标志	烟囱，石油井，盐井，天然气井，油库，煤气库，发电厂，变电所，电杆，塔，矿井，露天矿，采掘场，窑
农业标志	水车，风车，水轮泵，饲养场，打谷场，储藏室
历史文化标志	革命烈士纪念碑、像，彩门，牌坊，气象台、站，钟楼，鼓楼，城楼，古关塞，亭，庙，古塔，碑及其他类似物体，独立大坟，坟地
地形方面的标志	独立石，土堆，土坑
其他标志	旧碉堡，旧地堡，水塔，塔形建筑物

在地形图上，独立地物符号必须精确地表示地物位置，所以符号都规定了其主点，便于定位。当独立地物符号与其他符号绘制位置有冲突时，一般保持独立地物符号位置的准确，其他物体移位绘出。街区中的独立地物符号，一般可以中断街道线、街区留空绘出。

第三节　自然要素的表示方法

一、水系要素的表示

水系是地理环境中最基本的要素之一，它对自然环境及社会经济活动有很大影响。水系对反映区域地理特征具有标志性作用，对地貌的发育、土壤的形成、植被分布和气候的变化都有不同程度的影响，对居民地、交通网的分布和农业生产的布局等有显著的影响。在军事上，水系物体的障碍作用尤为突出，通常可作为防守的屏障、进攻的障碍，也是空中和地面判定方位的重要目标。从地图制图角度考虑，水系是地图内容的控制骨架，对其他要素有一定的制约作用。因此，水系在地图上的表示具有很重要的意义，是地图上重要的表示内容。

（一）海洋要素的表示

普通地图上表示的海洋要素，主要包括海岸和海底地貌，有时也表示海流、潮流、海底底质以及冰界、海上航行标志等。对于地理图，表示的重点是海岸线及海底地形。

1. 海岸的结构

海水和陆地相互作用的具有一定宽度的海边狭长地带称为海岸。海岸由沿岸地带、潮浸地带和沿海地带三部分组成（图 9.4）。

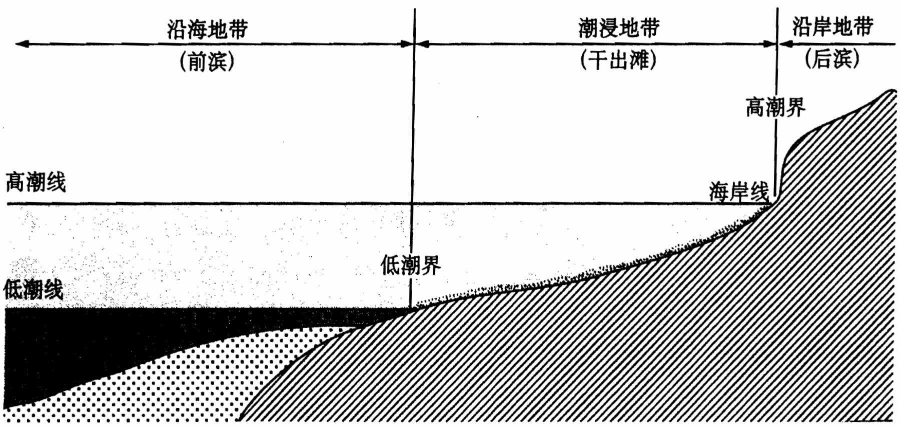


图 9.4　海岸的组成

沿岸地带，亦称后滨。它是高潮线以上狭窄的陆上地带，是高潮波浪作用过的陆地部分，可依海岸阶坡（包括海蚀崖、海蚀穴）或海岸堆积区等标志来识别。根据地势的陡缓和潮汐情况，这个地带的宽度可能相差很大。

潮浸地带，是高潮线与低潮线之间的地带，高潮时淹没在水下，低潮时露出

水面，地形图上称之为干出滩。沿岸地带和潮浸地带的分界线即为海岸线，它是多年大潮的高潮位所形成的海陆分界线。

沿海地带，又称前滨。它是低潮线以下直至波浪作用的下限的一个狭长的海底地带。

在海岸的发育过程中，三个地带是相互联系不可分割的整体。

2. 海岸的表示

在地形图上表示海岸线，要反映海岸的基本类型及特征。海岸线通常以蓝色实线表示，低潮线用虚线概略绘出。在海岸线以上的沿岸地带，主要通过等高线或地貌符号表示。在沿海地带，主要表示沿岸岛屿和海滨沙嘴、潟湖等。在小比例尺地理图上，以不同形状的概括图形来区分岩岸、沙岸、泥岸等，以蓝色小点表示沙洲、浅滩，以红色珊瑚礁符号组成不同的图案表示群礁、堡礁和环礁（图 9.5）。

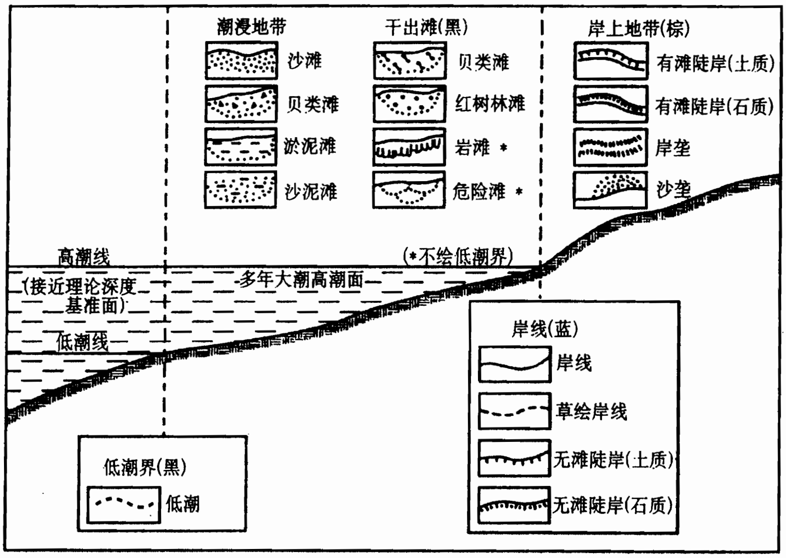


图 9.5　海岸的表示

3. 海底地形的表示

海底地形的基本轮廓可以分为三大基本单元，即大陆架（大陆棚）、大陆坡（大陆斜坡）、大洋底。它们通常是通过水深注记、等深线加分层设色来表示。三个基本单元的深度，大陆架一般为 0～200m；大陆坡一般为 200～2500m；大洋底一般为 2500～6000m。海洋水深的起算面与陆地高程的计算方法不同，不是采用平均海平面来计算，而是根据长期验潮数据计算出来的理论上可能最低的潮位面，即所谓的根据理论深度基准面作为计算海深的基准面。

（1）深度基准面

在我国的普通地图和海图上，陆地部分统一采用 1985 年国家高程基准（原

采用1956年黄海高程系）自下而上计算，海洋部分的水深则根据“深度基准面”自上而下计算。深度基准面，是根据长期验潮的数据所求得的理论上可能最低的潮面，也称理论深度基准面。地图上标注的水深，就是由深度基准面到海底的深度。海水的几个潮面及海陆高程起算之间的关系，如图9.6所示。理论深度基准面在平均海水面以下。

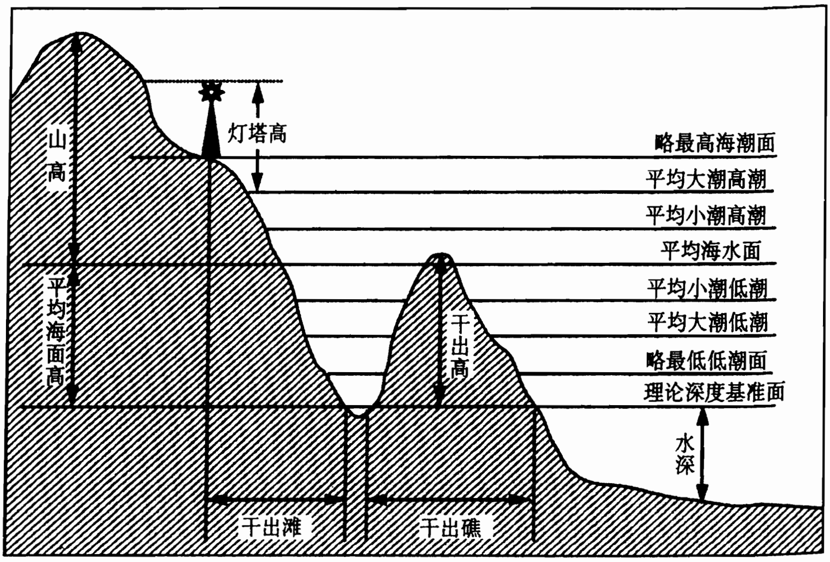


图9.6　潮面及海陆高程起算的示意图

海面上的干出滩和干出礁高度是从深度基准面向上计算的。涨潮时，一些小船也可在干出滩上航行，此时的水深是潮高减去干出滩高度。海面上的灯塔、灯桩等沿海陆上发光标志的高度则是从平均大潮高潮面起算的。因为舰船进出港或近岸航行，多选在高潮涨起的时间。

综上所述，在理论上海岸线不是0m等高线，0m等高线应在海岸线以下的干出滩上通过；海岸线也不是0m等深线，0m等深线大体上应该是干出滩的外围线（即低潮界符号），它在地图上是比海岸线更不易测定的一条线。实际上，只有在无滩陡岸地带，海岸线与0m等高线、0m等深线才重合在一起。一般情况下，由于0m等高线同海岸线比较接近，地图上不把它单独绘出来，而是用海岸线来代替。只有当海岸很平缓，有较宽的潮浸地带，且地图比例尺又比较大时，才绘出0m等高线。至于0m等深线，则一般用低潮线来代替。

（2）海底地貌的表示

海底地貌可以用水深注记、等深线、分层设色和晕渲等方法表示。

水深注记是水深点深度注记的简称，类似于陆地上的高程点。海图上的水深注记有一定的规则，普通地图也多引用。例如，水深点不标点位，而用注记整数

位的几何中心来代替；可靠的新测的水深点用斜体字注出，不可靠的旧资料的水深点用正体字注出；不足整数的小数位用较小的字注于整数后面偏下的位置，中间不用小数点，如 23_5 表示 23.5m。

等深线是从深度基准面起算的等深点的连线。等深线的形式有两种，一种是类似于境界的点线符号，另一种是通常所见的细实线符号，如图 9.7 所示。

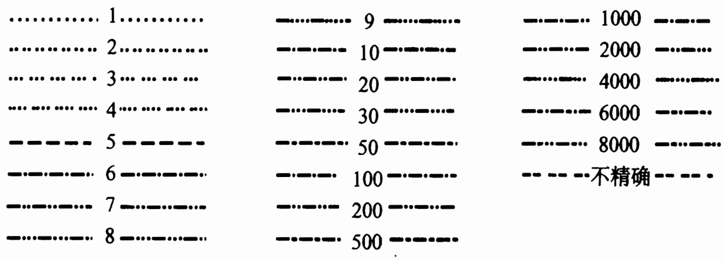


图 9.7　等深线符号

分层设色法与等深线表示法相配合可以较好地表示海底地貌。这种方法是在等深线的基础上每相邻两根等深线（或几根等深线）之间加绘相应颜色来表示海底地貌的起伏。通常，都是用不同深浅的蓝色来区分各层的，且随水深的加大，蓝色逐渐加深。海底地貌有时也采用晕渲法表示。

（二）陆地水系的表示

陆地水系是指一定流域范围内，由地表大大小小的水体，如河流的干流、若干级支流及流域内的湖泊、水库、池塘、井、泉等构成的系统。

1. 河流、运河及沟渠的表示

在普通地图上表示河流，必须搞清区域的自然地理特征及河流的类型，才能使水系的图形概括科学、合理。在表现方法上，以蓝色线状符号的轴线表示河流的位置及长度，以线状符号的粗细表示河流的上游与下游、主流与支流的关系。与河流相联系的还有运河和沟渠，在地图上一般只以蓝色的单实线表示。

地图上通常要求显示河流的形状、大小（宽度和长度）和水流状况。当河流较宽或比例尺较大时，只要正确描绘河流的两条岸线就能大体上满足要求。河流岸线是指常水位所形成的岸线（也称水涯线），如果雨季的高水位与常水位相差很大，则大比例尺图上还要求同时用棕色虚线表示高水位岸线。

由于地图比例尺的关系，地图上大多数河流只能用单线表示，用单线表示河流时，通常用 0.1～0.4mm 的线粗表示。符号由细到粗自然过渡，可以反映出河流的流向和形状，区分出主支流，同时配以注记还可表明河流的宽度、深度和底质。根据绘图的可能，一般规定图上单线河粗于 0.4mm 时，就可用双线表

示。单双线河相应于实地河宽参见表 9.2。

表 9.2　单双线河相应于实地河宽

比例尺 / 实地河宽 / 图上线型	1∶2.5 万	1∶5 万	1∶10 万	1∶25 万	1∶50 万	1∶100 万
0.1～0.4mm 单线	10m 以下	20m 以下	40m 以下	100m 以下	200m 以下	400m 以下
双线	10m 以上	20m 以上	40m 以上	100m 以上	200m 以上	400m 以上

为了与单线河衔接及美观的需要，往往用 0.4mm 的不依比例尺双线符号过渡到依比例尺的双线符号表示。小比例尺地图上，河流有两种表示方法：一是与地形图相同的方法，采用不依比例尺单线符号配合不依比例尺双线和依比例尺双线符号来表示（如图 9.8）；二是采用不依比例尺单线配合真形单线符号来表示（如图 9.9）。

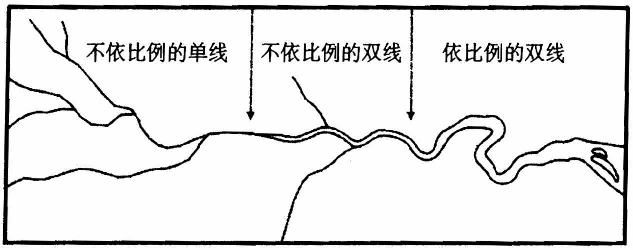


图 9.8　河流符号



图 9.9　真形单线河符号

根据河流的流水情况，有常年河、季节性有水河、地下河段和消失河段等，地图上用相应的符号加以区别。

运河和沟渠是人工开凿的水道，供灌溉和排水用。运河及沟渠在地图上都是用平行双线（双线内套浅蓝色）或等粗的实线表示，并根据地图比例尺和实地宽

度的分级情况用不同粗细的线状符号表示。

2. 湖泊的表示

湖泊是水系中的重要组成部分，它不仅能反映水资源及湿润状况，同时还能反映区域的景观特征及环境演变的进程和发展方向，如图 9.10 所示。在地图上，湖泊是以蓝色实线或虚线轮廓，再配以蓝、紫不同面色区分湖泊的水质加以表示的。通常用实线表示常年积水的湖泊，用虚线表示季节性有水的时令湖。

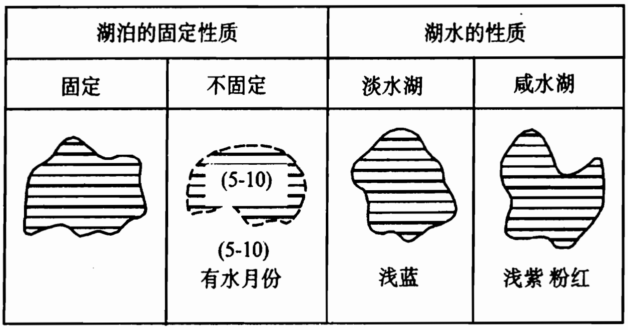


图 9.10　湖泊的表示

3. 水库的表示

水库是为饮水、灌溉、防洪、发电、航运等需要建造的人工湖泊。由于它是在山谷、河谷的适当位置，按一定高程筑坝截流而成的，因此在地图上表示时，一定要与地形的等高线形状相适应。如图 9.11 所示，在地图上能用真形表示的，则用蓝色水涯线表示，并标明坝址；对不能依比例尺表示的，则用符号表示。

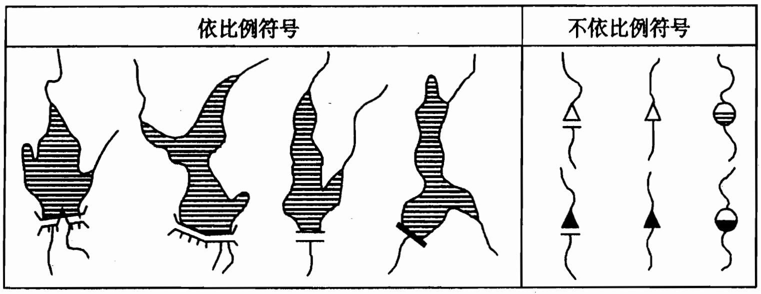


图 9.11　常见的水库符号

4. 井、泉的表示

井泉虽小，但它却有不容忽视的存在价值。在干旱区域、特殊区域（如风景旅游区）地图上，用点状符号加以表示。

5. 水系注记

地图上需要注出名称的水系物体有：海洋、海峡、海湾、岛屿、湖泊、江

河、水库等。

二、地貌要素的表示

地貌是普通地图上最主要的要素之一，它与水系一起，构成了地图上其他要素的自然地理基础，并在很大程度上影响着它们的地理分布。地貌在军事上具有十分重要的意义，它是部队实施各种军事行动的依据之一。部队运动、阵地设置、工事构筑、隐蔽伪装等都必须研究和利用地貌。在国民经济方面，交通、水利、农业、林业部门要根据地貌来勘察、设计和施工，地质部门要根据地貌来填绘地质结构和岩层性质等。通常地图上表示地貌要反映地貌的形态特征，表示地貌不同类型、分布特点，具有可量测性，显示出地面起伏的效果。

对具有三维空间的地貌，如何将它科学地表示在地图这个二维空间的平面上，使之既富有立体感，又有一定的数学概念，以便进行量测，人类经历了漫长的历程和多种尝试，创立了写景法、等高线法、晕滃法、晕渲法和分层设色法等多种表示地貌的方法。到目前为止，常用表示方法主要有等高线法、分层设色法和晕渲法。

（一）等高线法

它是用高程等值线定量表示地貌起伏的一种方法，通过等高线的组合来具体反映地面的起伏大小和形态变化。用等高线表示地貌的定位精度，取决于等高线的获取方法及地图比例尺。运用航测方法获得的真实连续的等高线定位精度高，野外测得高程点后再用插绘方法获得等高线的定位精度较前者低；地图比例尺大、概括程度低，等高线的定位精度就高，比例尺小、概括程度高，等高线的定位精度低。用等高线法表示地貌形态的详细程度，主要取决于比例尺或等高距的大小。比例尺大，等高距小，地貌形态表示的详细；反之亦然。

等高线法的基本特点就在于它具有明确的数量概念，可以从地图上获取地貌的各项数据；可以用一组有一定间隔的等高线的组合来反映地面的起伏形态和切割程度，使得每种地貌类型都具有独特的等高线图形；另外，等高线又是其他地貌表示法的几何基础。正由于等高线具有许多优点，才使其成为当前在地图上表示地势起伏方法的主流。

等高距就是相邻两条等高线高程截面之间的垂直距离，或者说是相邻两条等高线之间的高程差，如图 9.12 所示，有

$$h = \frac{dM}{1000} \cdot \tan\alpha \qquad (9\text{-}1)$$

式中：M 为比例尺分母；d 为水平距离；α 为坡度；h 为等高距。

随着地图比例尺的缩小、等高距的扩大，等高线图形更加概括，等高线的作

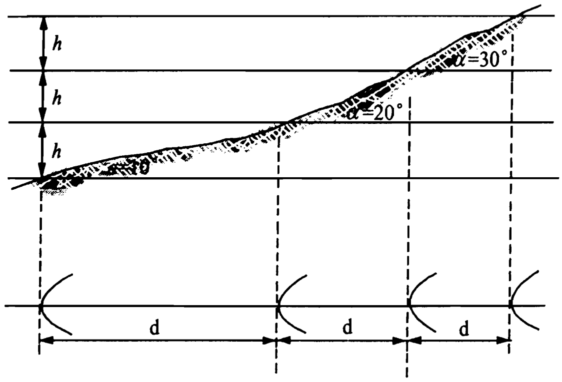


图 9.12　等高距的计算

用将逐渐以反映地形的基本特征为主，不能依据它量测地面的实际高度和坡度。小比例尺地图，常因制图区域范围大，可能包括各种地貌类型，如平原、丘陵、山地，若用固定等高距，难以反映出各种地貌情况，可以采用等高距随高程增加而逐渐增大的方法，称为“变距高度表”。

地形图上的等高线分为首曲线、计曲线、间曲线和助曲线四种（图 9.13）。

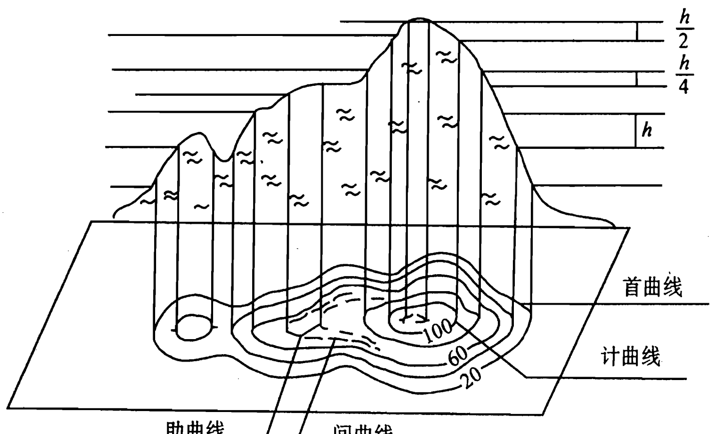


图 9.13　地形图上的等高线

首曲线又叫基本等高线，是按基本等高距由零点起算而测绘的，通常用细实线描绘。

计曲线又称加粗等高线，是为了计算高程的方便加粗描绘的等高线，通常是每隔四条基本等高线描绘一条计曲线，它在地形图上以加粗的实线表示。

间曲线又称半距等高线，是相邻两条基本等高线之间补充测绘的等高线，用以表示基本等高线不能表示而又重要的局部地貌形态，地形图上常以长虚线表示。

助曲线又称辅助等高线，是在任意的高度上测绘的等高线，用于表示那些任何等高线都不能表示的重要微小地貌形态。因为它是任意高度的，故也叫任意等高线，但实际上助曲线多绘在基本等高距 1/4 的位置上。地形图上助曲线是用短虚线描绘的。

我们常把间曲线和助曲线称为补充等高线。

等高线法表示地貌有两个明显的不足：其一，缺乏视觉上的立体效果，即立体感差；其二，两等高线间的微地貌无法表示，需要用地貌符号和地貌注记予以补充。为了增强等高线法的立体效果，经过长期的研究试验，提出了许多行之有效的方法，例如：明暗等高线法，就是使每一条等高线因受光位置不同而绘以黑色或白色，以加强立体感（图 9.14）；粗细等高线法，是将背光面的等高线加粗，向光面绘成细线，以增强立体效果（图 9.15）。普通地图上有一些特殊地貌现象，如冰川、沙地、火山、石灰岩等，必须借助地貌符号和注记来表示。



图 9.14　明暗等高线

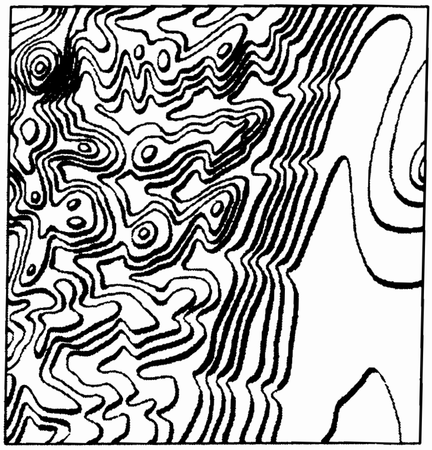


图 9.15　粗细等高线

（二）分层设色法

地貌分层设色法是以等高线为基础，在等高线所限定的高程梯级内，设以有规律的颜色，表示陆地的高低和海洋深浅的方法，如图 9.16 所示。它能明显地区分地貌高程带；利用色彩的立体特性，产生一定的立体感；减少“变距高度表”视错觉的影响。从某种意义上讲，此法是对由等高线所限定的高程带的一种增强视觉立体感的方法。在小比例尺地图上用于表示地貌更为有效一些。

这种方法加强了高程分布的直观印象，更容易判读地势状况，特别是有了色彩的正确配合，使地图增强了立体感。不难看出，构成分层设色的基本因素有两个：一是合理地选择限定高程带的等高线；二是正确利用色彩的立体特性，即设

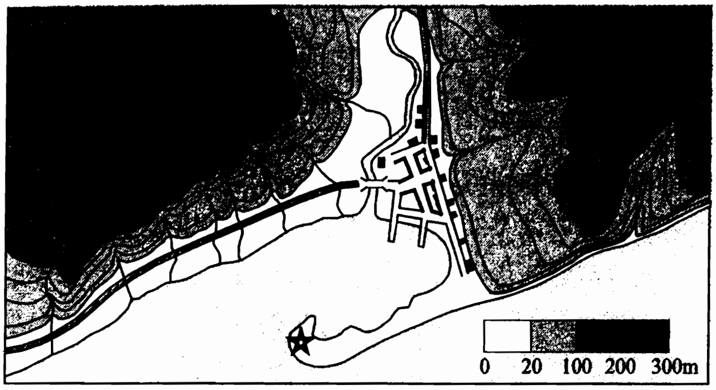


图 9.16　分层设色法

计出一个好的色层表（设了颜色的高度表）。

分层设色法在设色时要考虑地貌表示的直观性、连续性和自然感等原则。如以目前普遍采用的绿褐色系列为例，平原用绿色，丘陵用黄色，山地用褐色；在平原中又以深绿、绿、浅绿等三种浓淡不同的绿色调显示平原上的高度变化；高山（ 5000m 以上）为白色或紫色；海洋部分采用浅蓝到深蓝，海水愈深，色调愈浓。这种设色系列把色相与色调结合起来，层次丰富，能引起对自然界色彩的联想，效果较好。常用的色层表有：适应自然环境色表、相似光谱色表和不同色值递变色表。

1. 适应自然环境色表

选用与自然环境相适应的色彩构成色表，这种设想是很自然的。很早以前人们就模仿自然景色来显示地图上的地貌立体感。这种色表曾在过去相当长的时间内，为许多国家的分层设色图所采用。但是，纯自然模仿型的色层表，颜色结构单调，缺乏立体感，而且随高度增加色调偏暗，图面也缺少生气，所以现在很少采用。发展到后来，人们改进了传统的绿褐色表，在高层级上用饱和度增大的暖色系，如橙色、红色代替暗棕色，使高山部分偏棕红色，以增强立体感；绿色层级的过渡常采用黄色系；海洋以蓝色为基色。这就形成了当前普遍采用的分层设色色层表，如我国和世界各国的许多现代地图上，大多都采用这样的色层高度表。

2. 相似光谱色表

为了找到更合乎逻辑的颜色序列，人们提出了“光谱色表”。该色表完全按照光谱色序建成，用红、橙、黄、绿顺序分层表示陆高，用青、蓝表示海深，形成光谱色序的结构形式。由于该色表中没有暗色，且各色的饱和度都差不多，所以由它表示的高程带的分布和对比清楚明显，也能显示出一定的立体感。但是，这种色表的设色却未能广泛应用，这是因为光谱颜色的亮度的排列不是等价的，

黄色最亮并居于光谱色系的中间，显得不是太协调。此外，在地貌色层的顶部用大红的颜色，也与高山冰雪特征不相符，而且给人以刺眼的烦躁感。但以光谱原则为基础所做的改进色表，仍然有应用的价值。如低平地区用绿或灰绿色，然后依次用米黄、橙、红橙、橙红色表示，或者是另一些色表形式。这是一种近似光谱色序的色表，现今在分层设色图上采用的比较多，其显示的效果也比较好。

3. 不同色值递变色表

在颜色科学中，颜色的明度又称为色值，它与饱和度、色相三者构成颜色的知觉属性。分层设色色层表中，除采用不同的色相构成外，颜色的其他属性也可以塑造立体感，由此，提出了利用颜色的这两种属性，即依不同色值（明度）排列颜色次序的建表原则。通常见到的是“愈高愈暗”和“愈高愈亮”原则。

根据越高越暗设色原则所建立的色层表，有简单和多色相两种。简单色层表通常由3～4种颜色组成，其中绿-褐色表示陆地部分，蓝色表示水部，适用于地面高度变化不大的地区或用以显示局部地貌。多色相色层表用在高度表划分较多的地图上，但用色也不宜过多，关键在于要选择好表示高程变化的几根主要等高线，并使色层过渡自然而不脱节。

愈高愈亮色表，是设想由空中俯瞰地面，对各种颜色产生不同生理视觉为基础的。低地视远觉其灰暗，设以暗色调；高地视近觉其明亮，设以亮色调。就是说，色表随高程的增加颜色愈明亮，这便是愈高愈亮的构色原理。由于色彩亮度的变化与高度变化相适应，又产生远近的视觉差别，因此以该色表制作的分层设色图也就有了立体感。

由于分层设色法使地图图面上普染了底色，因此底色上某些要素的色彩会发生变化或不够清晰．深色层面上的名称注记不易阅读。

（三）晕渲法

地貌晕渲法是对光影在地面上的分布规律进行归纳总结，在地图平面上用不同色调（墨色和彩色）的浓淡表示全部光影变化，则可获得图上地貌的起伏立体感的方法。其实质就是光影立体效果在地图上的应用，如图9.17所示。

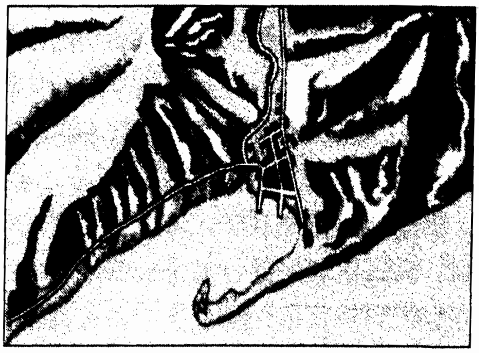


图9.17　晕渲法

晕渲法是目前在地图上产生地貌立体效果的主要方法。因为它的图面效果好，技法又较易掌握，所以很受制图者的重视，应用的范围很广。但是晕渲法也有自己的问题，并非在一

切地图上都可采用。晕渲法的立体感是因视错觉和心理联想产生的，所以渲绘和印刷的质量稍差时，立体感就会降低，甚至会在图面上起到干扰的作用。因此，对于设计者和绘制者来说，应该全面了解晕渲法的基本原理，它的构成特点，制印工艺对晕渲的要求，以及晕渲技法等，这样，才能正确运用这种方法，晕渲出质量高的图形来。

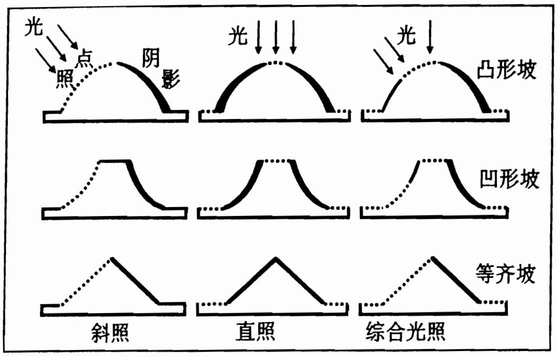


图 9.18　三种不同光照的晕渲

晕渲法的表现形式有很多，主要可以按下列标志进行分类。

1. 按光照原则分类

地貌晕渲可分为三种基本表现形式（图 9.18）：直照晕渲、斜照晕渲和综合照晕渲，它们分别适用于不同高差对比的山体。

2. 按晕渲表现地貌的详细程度分类

地貌晕渲可分为全晕渲和半晕渲的表现形式。全晕渲是根据斜照光源的几何光学原理，除了地貌的阴、阳坡外，所有的平地都要普染一层浅色调，有时为了加强阳坡面的明亮度，还特意把平地的淡影加深。全晕渲的立体感是比较好的，它的不足是图面稍暗，当地图上其他要素的密度较大时容易互相干扰，既减弱整体效果又影响了图面清晰。半晕渲就是针对这种现象提出的改进办法。

半晕渲是相对全晕渲来说的，它既可以看成是去掉平地的淡影，只渲绘地貌的阴、阳坡面，也可以理解为根据图面需要有重点地渲绘主要地貌，或者是需要强调其立体效果的部位。半晕渲有不加重地图的负载量，以免影响地图上其他要素的易读性的效果。

3. 按晕渲色彩分类

地貌晕渲可分为单色晕渲、双色晕渲和多色晕渲（即彩色晕渲）。单色晕渲是用一种色相（消色或某种色彩）的浓淡，或者是某色相的不同亮度来反映山体的光影分布。由于晕渲的实质是用光影来显示立体感的，因此单色晕渲时的色相选择应当以连续色调丰富的复色为主，即含有黑灰成分的棕灰、青灰、绿灰、蓝紫、棕褐色等色。如果选用明亮的黄、鲜绿、橙、红等色，就难以产生立体效果。

双色晕渲是把制图区域的地貌按一定的原则拆成两个单色版画，两个色套合印刷。拆成两块版的目的是加强地貌的立体感，更好地区分主要的地貌类型，或者在晕渲同较复杂的底色套合时，改善晕渲同底色套合后的色彩效果。

彩色晕渲是用色彩的浓淡、明暗和冷暖对比来建立地貌立体感的，它比单色晕渲有更强的表达能力。彩色晕渲必然是全晕渲。

另外，由于晕渲法的阴影浓淡变化的黑度值是可以计算的，所以计算机自动地貌晕渲技术得到了迅速发展，是减轻手工晕渲劳动量的有效途径。同时对地貌晕渲产品的实效性与质量也起到了良好作用。基于计算机的地貌晕渲技术可以说是制作晕渲图的一个进步。在传统制图方法中，地貌晕渲的实现都是手工作业完成的，一幅晕渲图从设计到生成至少需要几个月的时间。面对当前地图信息迅速更新与地图生产周期不断缩短的现状，这样的速度显然已成为地图生产出版中的一个羁绊。在这种情况下，计算机自动实现地貌晕渲已势在必行。

随着计算机软硬件的发展，特别是高分辨率扫描图像设备和大容量存储器的出现，为计算机自动绘制地貌晕渲提供了有利的条件。在计算机自动地貌晕渲中，已研究的解析法晕渲原理是将地面立体模型的连续表面分解成许多小平面单元（如正方格网最大不超过 1/4mm 边长），当光线从某一方向投射来时，测出每个小平面单元的光照强度，并把它垂直投影到平面上。由于是用小平面单元构成一种镶嵌式的图形，所以选定的平面单元越小，自动晕渲图像就越连续自然。

计算机自动绘制地貌晕渲图是有发展前途的，但它的使用必须在普遍提供了数字地面模型（DEM）数据的前提下才有推广的可能。从技术上来看，我们还需要更多的软件，如光照原则、制图综合简化与其他要素的关系，以及地貌晕渲还得考虑某些艺术规律等，目前这些问题已逐步得到解决，地貌自动晕渲已广泛用于各类地图的制作中。

晕渲法由于具有较好的立体效果，应用范围很广，在一些需要突出显示地形要素的中小比例尺地图上，如政区图、交通图、航空图等常采用晕渲法表示地形。近年来有些国家还用于中比例尺地形图上，或供科研用的地理基础底图上（如 1∶150 万自然地理基础底图）。晕渲法也常与等高线法、分层设色法联合使用。

（四）地貌的虚拟表示法

随着人们对地貌表示的要求的提高和科学技术的发展，地貌表示经历了由传统纸质二维平面表示到基于数字地面模型的计算机辅助地貌的表示。随着战场数字化建设对地貌信息保障提出的新要求和计算机图形图像技术、仿真与虚拟现实技术的引入，研究并实现了更加逼真的数字地貌虚拟表示法。

二维地图上地貌的立体感是利用能产生心理立体视觉的透视方法或晕渲方法产生的，而不具有真三维立体感。而在虚拟现实技术和三维图形技术的支撑下，所表示的地貌具有生理立体视觉感，地貌表示更加生动、逼真、形象，如图 9.19 所示。地貌虚拟表示是一种利用计算机技术和可视化技术，将数字化的地貌信息用计算机图形方式再现，加以双眼立体观察设备（头盔、数据手套等），使地貌具有“临场感、真三维立体感”。



图 9.19 山峡景观

地貌虚拟表示法的特点主要体现在如下几个方面。

1. 基于数字信息的表示方法

传统地貌信息以图形的方式直接绘制在纸质地图上，现在是以数字信息（文件）的方式记录在计算机的存储介质中，如磁盘、光盘等，是快速量算和自动分析的基础，可直接参与各种数学模型和分析模型的计算。

2. 真三维空间特征表示

建立在三维模型基础上的真三维空间表示，在显示效果上更加符合人眼观察地貌的规律，借助于一定的设备，更能让人产生“身临其境”感，从而实现大多数读图者在读图时想“进入地图”的愿望，从而使人们对地貌信息的接受更加自然。

3. 实时动态性

传统纸质地图与数字地貌的立体表示都是静态的。而数字地貌虚拟表示则可放大、缩小、漫游、旋转，甚至“飞翔”。借助“虚拟现实”的技术和设备，更能产生逼真感，满足实时显示的要求。

4. 可交互性

传统纸质地图是不可交互的，一般的数字地貌表示的交互也是有限的，而数字地貌虚拟表示在虚拟环境中可借助专门的设备（头盔、数据手套、操纵杆等）进行交互式操作，获取新的信息。

5. 多比例尺（多分辨率）

传统纸质地图一旦制作完毕，比例尺是固定的，而现在数字地貌虚拟表示可以根据需求任意变化比例尺。

地貌精度与立体效果仍然是用户对地貌表示的最基本的要求。在虚拟地貌表示中体现为图形模拟和数据模拟。

地貌虚拟表示法的优势可以从以下三方面来体现。

1. *效果优势*

继承了传统地貌表示方法的优点。等高线法、分层设色法、地貌晕渲法的各种规则仍然在虚拟表示法中得到继承和应用。用虚拟地貌表示法实现的等高线、分层设色及地貌晕渲的效果可以与传统制图的效果相媲美。

对地貌信息的接受更加接近自然。建立在地貌三维模型的、真三维空间的表示，具有严格的数学基础和科学依据（如透视效果是透视矩阵变换的结果，可以进行三维查询，比传统的目视写景法更科学，而传统方法对绘图者的依赖性较大，绘图时有很多人为误差）。加上实时动态性、可交互性，在显示效果上更加符合人眼观察自然的规律，借助于一定的特殊设备，更能让人产生“身临其境”感，并且可以方便地进行多维切换。

成图速度快、便于修改和方案设计。传统的纸质地图地貌表示法，一幅地形图大小的晕渲图从设计到成图往往需要 20～50 个工天，而现在用虚拟地貌表示法来制作晕渲图，能达到实时交互的速度。

2. *精度优势*

改变了传统地图上的量算模式，实现基于数据库和各种分析模型的智能化地形分析与量算，无论是在速度、精度还是功能上都是传统的方法无法比拟的。此时的精度取决于数据源、数学模型、分析模型的精度，避免了传统方法中的人为误差。

3. *应用优势*

地貌虚拟表示法广泛地应用于工程建设、战场数字化建设等领域，在作战环境分析、军事设施施工、巡航导弹制导等武器控制方面发挥了较大作用。

作战模拟是一种古老的战争研究方法。其地形环境平台经历了一个发展过程，从实地到纸质地图、电子地图。其中建立一个可交互、可进入的逼真的地形环境，对于作战模拟而言十分重要。无论是对于单兵训练，还是大规模的战役演练，虚拟地貌都可以为参与者提供一个逼真的作战地形环境，将各种地理数据及分析结果在三维环境中以可视化的形式表示出来，相对基于二维地图的表示方法而言，是一个重要的进步，已经成为实战中作战指挥的地理环境平台。

三、土质、植被的表示

普通地图上表示土质、植被的目的，主要是为了向用图者提供区域地表覆盖的宏观情况，因此表示得比较概略，而且与专题地图上表示的土壤、植被有着不同的含义。普通地图上表示的土质并不是地学中所称谓的土壤，而是指地表覆盖的性质，如山区的裸岩、冰川，平地上的沙地、沼泽地和盐碱地等。通常习惯将裸岩、冰川、沙地划归地貌的表示内容，因此要表示的土质就更为简单了。植被

是指植被覆盖的总称，分天然植被与人工植被两大类。天然植被中最主要的是森林，其他还包括幼林、灌木林、竹林、草本植物等；人工植被主要有经济作物地、果园、稻田等。

地形图上表示植被是为了了解区域隐蔽价值，判断方位，了解障碍情况和提供取材的资料，因此表示了森林、幼林、竹林、灌木丛、芦苇、稻田等等，并注明某些林种的数量指标（平均高度、干粗等），强调了它们的分布范围和平面图形特征。各国地形图上植被的表示大体相同，因为它们的用途是基本接近的。有些差别也大都是地区性的差别，如海岸红树林带（这是登陆作战的重要障碍物）、仙人掌分布区（与灌木丛有相似的障碍作用）等。

如图 9.20 所示，植被在地图上是以区域底色和符号相配合的方法来表示的，并可加注必要的说明注记。单独使用底色不易区分植被品种，常常只用于小比例尺图上表示的森林。单独使用符号，植被的范围不清楚，是单色地图不得不使用的方法。很多国家地形图的符号用绿色符号和注记，配合以同色的网线底色，一版印刷。

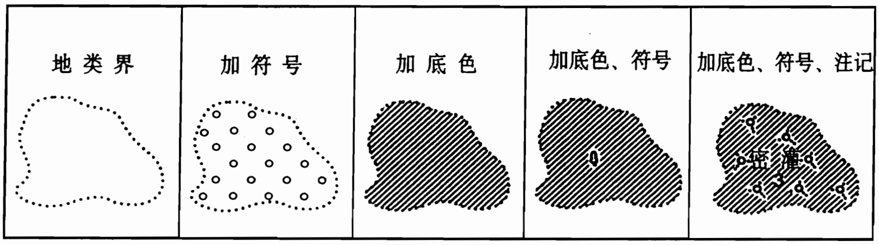


图 9.20　土质植被的表示

第四节　社会经济要素的表示方法

一、居民地的表示

居民地是人类由于社会生产和生活的需要而形成的居住和活动的场所。因此，一切社会人文现象无一不与居民地发生联系。居民地的内容非常丰富，但在普通地图上能表示的内容却非常有限，主要表示居民地的位置、形状、类型、建筑物的质量特征、人口数量和行政等级。

1. *居民地位置的表示*

地形图特别是大比例尺地形图上，居民地的位置是以详细的平面图形表示的，此时，居民地的位置通常以平面图形几何中心的位置来表示。而在小比例尺地形图或地理图上，除县市以上居民地在地图比例尺允许的情况下，有可能用简

单的平面轮廓图形表示外，其余绝大多数居民地均概括地用圈形符号表示，此时圈形符号的中心即代表居民地的位置。

2. *居民地形状的表示*

包括内部结构和外部轮廓。在普通地图上，尽可能地按比例尺描绘出居民地的真实形状。居民地的内部结构，主要依靠街道网图形、街区形状、水域、种植地、绿化地、空旷地等配合表示。其中街道网图形是显示居民地内部结构的主要内容（图 9.21）。居民地的外部轮廓，也取决于街道网、街区和各种建筑物的分布范围。随着地图比例尺的缩小，有些较大的居民地（特别是城市式居民地）往往还可用很概括的外围轮廓来表示其形状，而许多中小居民地就只能用圈形符号来表示，此时已无形状的概念了。

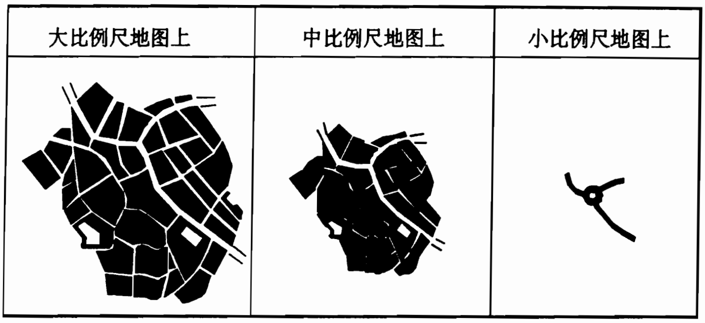


图 9.21　居民地内部结构

3. *居民地类型的表示*

在我国地图上居民地只分为城镇居民地和乡村居民地两大类。城镇居民地包括城市、集镇、工矿小区、经济开发区等；乡村居民地包括村屯、农场、林场、牧区定居点等。不同的居民地类型在地图上主要通过注记字体来区别。乡村居民地注记一律采用细等线体表示，城镇居民地注记基本都用中、粗等线体表示。但县、镇（乡）一级的居民点注记也有用宋体表示的。

4. *居民地质量特征的表示*

在大比例尺地形图上，可以详尽区分各种建筑物的质量特征。例如，可以表示独立房屋、突出房屋、街区（主要指建筑物）、破坏的房屋及街区、棚房等。新图式增加了 10 层楼以上高层建筑区的表示。图 9.22 是我国地形图上居民地建筑质量特征的表示法（左栏和右栏分别为老地形图、新地形图上居民地的表示法）。

随着地图比例尺的缩小，表示建筑物质量特征的可能性随之减小。例如，在 1∶10 万地形图上开始不区分街区的性质，在中小比例尺地形图上，居民地用套色或套网点方法表示轮廓图形或用圈形符号表示，当然更无法区分居民地建筑物

的质量特征。

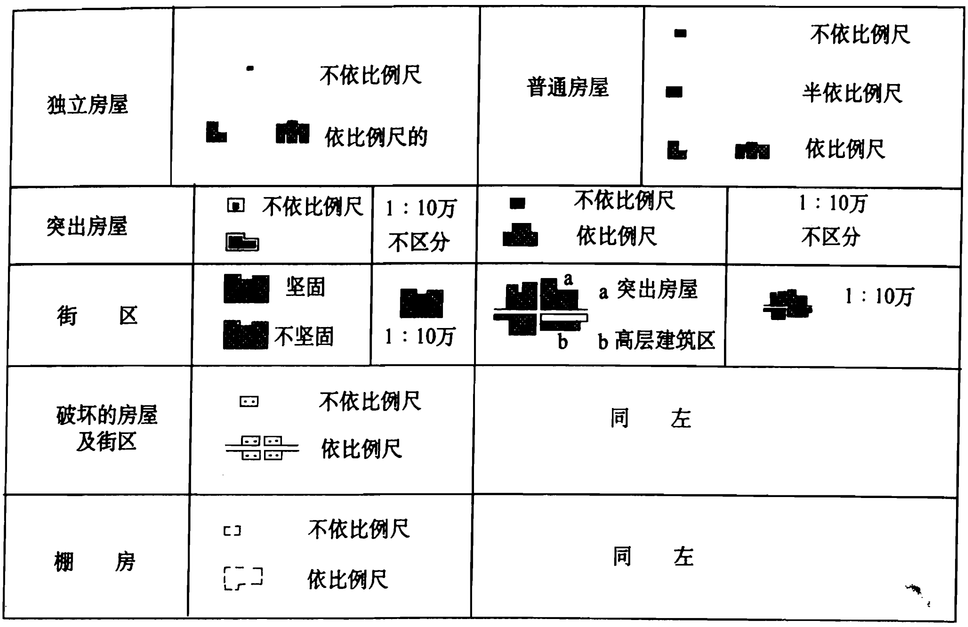


图 9.22　居民地建筑物的质量特征

5. *居民地人口数量的表示*

如图 9.23 所示，居民地人口数量能够反映居民地的规模大小及经济发展状况，通常是通过注记字体、字大或圈形符号的变化来表示的。在小比例尺地图上，绝大多数居民地用圈形符号表示，这时人口数分级多以圈形符号图形和大小变化来表示，同时配合字大来区分。为了清晰易读，圈形符号的等级不能设置过多。

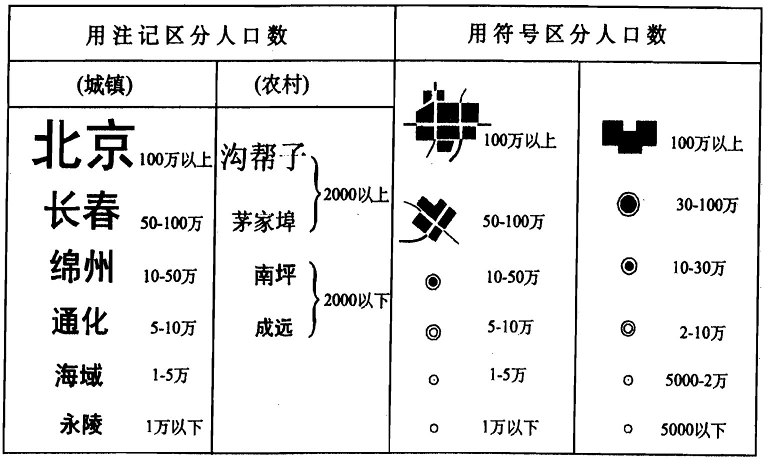


图 9.23　表示居民地的人口数的几种常用方法

6. *居民地行政等级的表示*

我国居民地的行政等级是国家法定标志，表示居民地驻有某一级行政机构。居民地的行政等级分为：首都所在地；省、自治区、直辖市人民政府驻地；市、自治州、盟人民政府驻地；县、自治县、旗人民政府驻地；镇、乡人民政府驻地；村民委员会驻地等 6 级。居民地的行政等级一般均用居民地注记的字体、字级加以区分（图 9.24）。

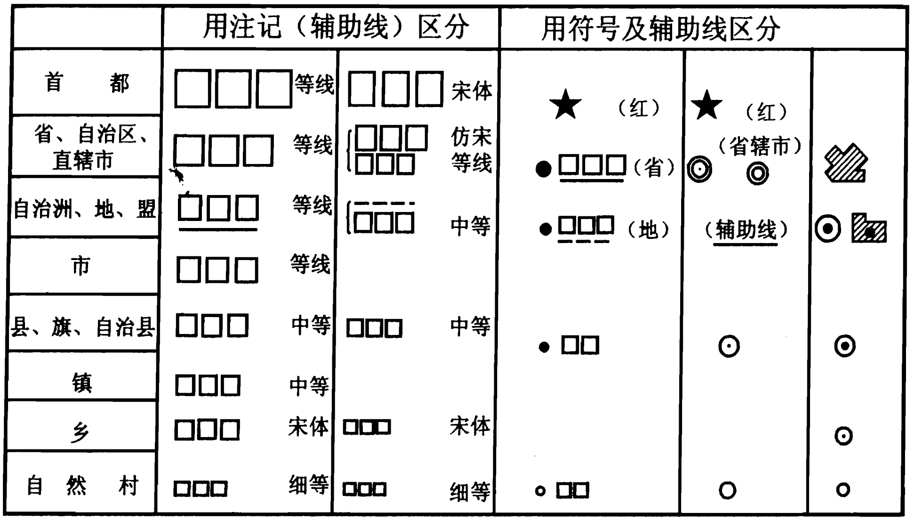


图 9.24　表示行政等级的几种常用方法

编制地图时，对于外国领土范围，通常只区分出首都和一级行政中心。

地图上表示行政等级的方法很多。如用地名注记的字体、字大来表示，用居民地圈形符号的图形和尺寸的变化来区分，用地名注记下方加绘辅助线的方法来表示等。

用注记的字体及字大区分行政等级是一种较好的方法。例如，从高级到低级，采用粗等线——中等线——细等线，利用注记的大小及黑度变化来区分。

圈形符号的图形和大小变化也常用来表示居民地的行政等级。这种方法特别适用于不需要表示人口数的地图上。当地图比例尺较大，有些居民地还可用平面轮廓图形来表示时，仍可用圈形符号表示其相应的行政等级。居民地轮廓图形很大时，可将圈形符号绘于行政机构所在位置；居民地轮廓范围较小时，可把圈形符号描绘在轮廓图形的中心位置或轮廓图形主要部分的中心位置上。

当两个行政中心位于同一居民地的时候，一般只注高一级的名称，也可用不同字体注出两个等级的名称。若三个行政中心位于同一个居民地，这时除了采用注记字体（及字大）区分外，还可采用加辅助线的方法。辅助线有两种形式：一种是利用粗、细、实、虚的变化区分行政等级；另一种方法是在地名下加绘同级

境界符号。

二、交通网的表示

交通网是各种交通运输线路的总称。它包括陆地交通、水路交通、空中交通和管线运输等几类。由于交通网是连接居民地之间的纽带，是居民地彼此间进行各种政治、经济、文化、军事活动的重要通道，在普通地图上应正确表示交通网的类型和等级、位置和形状、通行程度和运输能力以及与其他要素的关系等。

(一) 陆地交通

地图上应表示铁路、公路和其他道路三类。

1. **铁路**

在大比例尺地形图上，要区分单线和复线铁路，普通铁路和窄轨铁路，普通牵引铁路和电气化铁路，现有铁路和建筑中铁路等；而在小比例尺地图上，铁路只区分为主要（干线）铁路和次要（支线）铁路两类。

我国大、中比例尺地形图上，铁路皆用传统的黑白相间的所谓“花线”符号来表示。其他的一些技术指标，如单、双轨用加辅助线来区分，标准轨和窄轨以符号的尺寸（主要是宽窄）来区分，已成和未成的用不同符号来区分等。另外，车站及道路的附属建筑也需表示。小比例尺地图上，铁路多采用黑色实线来表示。图 9.25 是我国地形图上使用的铁路符号示例。

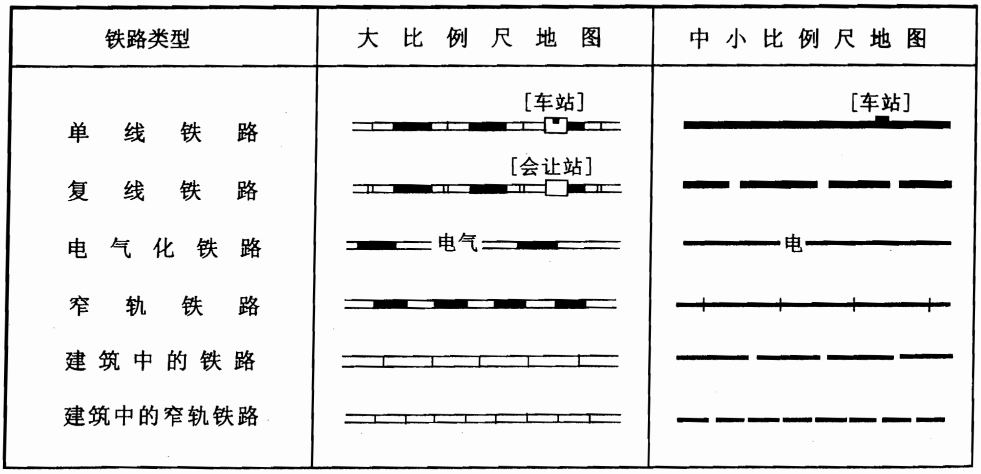


图 9.25　地形图上铁路符号

2. **公路**

在地形图上，以前分为主要公路、普通公路和简易公路等几类，后改为公路和简易公路两类。主要以双线符号表示，再配合符号宽窄、线号粗细、色彩的变

化和说明注记等反映其他各项技术指标。地理图上一般只表示公路和简易公路或主要公路和次要公路，或国道、省道、县道等。表示内容有路面宽度、路面铺设情况及通行情况。

在大比例尺地形图上，还详细表示了涵洞、路堤、路堑、隧道等道路的附属建筑物。

新地形图图式中，依据交通部的技术标准来划分，将公路分为汽车专用公路和一般公路两大类。汽车专用公路包括高速公路、一级公路和部分专用的二级公路；一般公路包括二、三、四级公路。图 9.26 是我国新的 1∶2.5 万～1∶10 万地形图上公路的表示示例。

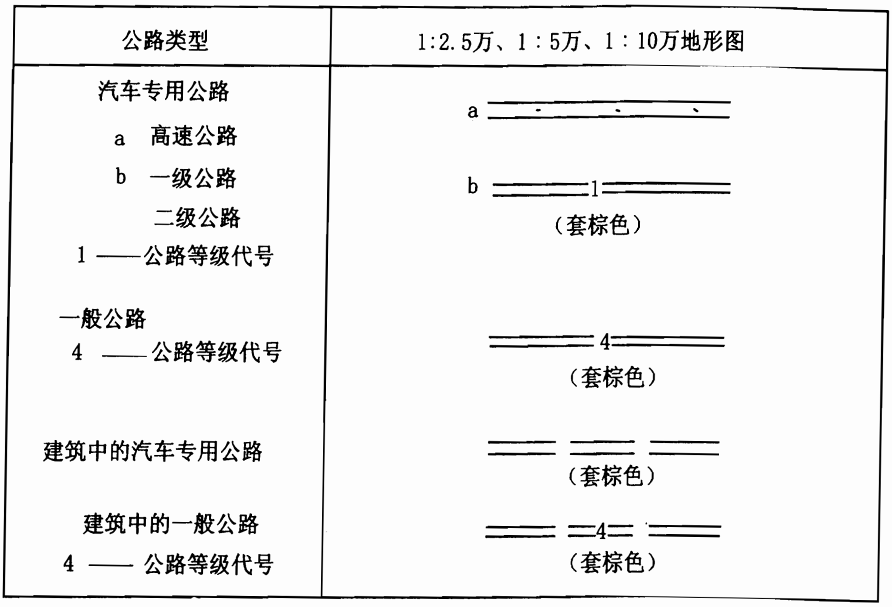


图 9.26　新地形图图式中的公路符号

在小比例尺地图上，公路分级相应减少，符号也随之简化，一般多以实线表示。

3. 其他道路

其他道路是指公路以下的低等级道路，包括大车路、乡村路、小路、时令路、无定路等（图 9.27）。在地形图上常用细实线、虚线、点线并配合线号的粗细区分表示。在小比例尺地图上，低级道路表示得更为简略，通常只分为大路和小路。

（二）水路交通

水路交通主要区分为内河航线和海洋航线两种。地图上常用短线（有的带箭

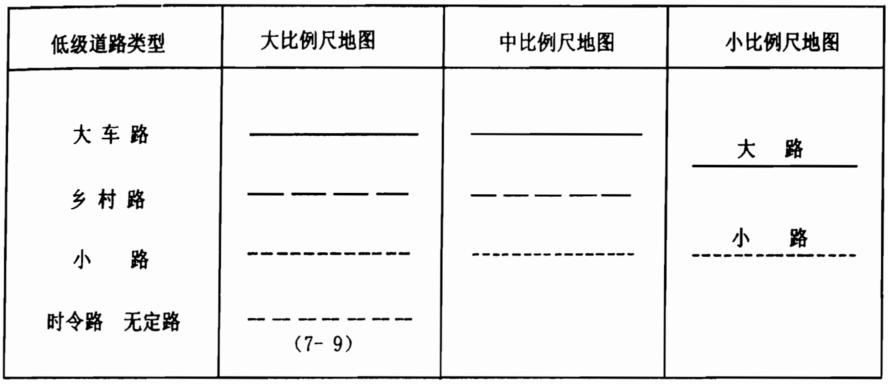


图 9.27　我国地形图上低等级道路的表示

头）表示河流通航的起讫点。在小比例尺地图上，有时还标明定期和不定期通航河段，以区分河流航线的性质。

一般在小比例尺地图上才表示海洋航线。海洋航线常由港口和航线两种标志组成。港口只用符号表示其所在地，有时还根据货物的吞吐量区分其等级。航线多用蓝色虚线表示，分为近海航线和远洋航线。近海航线沿大陆边缘用弧线绘出，远洋航线常按两港口间的大圆航线方向绘出，但注意绕过岛礁等危险区。相邻图幅的同一航线方向要一致，要注出航线起讫点的名称和距离。当几条航线相距很近时，可合并绘出，但需加注不同起讫点的名称。

（三）空中交通

在普通地图上，空中交通是由图上表示的航空站体现出来的，一般不表示航空线。我国规定地图上不表示国内航空站和任何航空标志，国外一般都较详细地表示。

（四）管线运输

主要包括管道和高压输电线两种。它是交通运输的另一种形式。

管道运输有地面和地下两种。我国地形图上目前只表示地面上的运输管道，一般用线状符号加说明注记来表示。

在大比例尺地图上，高压输电线是作为专门的电力运输标志，用线状符号加电压等说明注记来表示的。另外，作为交通网内容的通信线也是用线状符号来表示的，并同时表示出有方位的线杆。在比例尺小于 1∶20 万的地图上，一般都不表示这些内容。

三、境界的表示

普通地图上表示的境界包括政治区划界和行政区划界。政治区划界包括国与国之间的已定国界、未定国界及特殊的政治与军事分界（如巴勒斯坦地区界、克什米尔地区的印巴军事停火线、朝鲜半岛的南北军事分界线等）。行政区划界，即一国之内的行政区划界线，如我国的省、自治区、直辖市界，市、州、盟界，县、自治县、旗界，乡、镇界。

政治区划界和行政区划界，必须严格按照有关规定标定，清楚正确地表明其所属关系。尤其国界的标绘必须报请国家有关主管部门审批。陆地国界在图上必须连续绘出。当以山脊、分水岭或其他地形线分界时，国界符号位置必须与地形地势协调。当国界以河流中心线或主航道为界时，应该通过国界符号或文字注记明确归属关系。譬如，当河流能依比例尺用双线表示时，国界线符号应该表示在河流中心线或主航道上，可以间断绘出；假如河流不能依比例尺用双线表示，或双线河符号内无法容纳国界符号时，可在河流两侧间断绘出（跳绘）。如果河流为两国共同所有，即河中无明确分界，亦可以采用在河流两侧间断绘出国界符号，如图 9.28 所示。

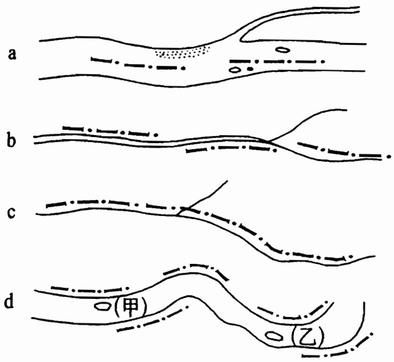


图 9.28　国界以河流为界

行政区划界的表示原则同国界。

地图上的境界线的符号用不同规格、不同结构、不同颜色的点、线段表示，如图 9.29 所示。

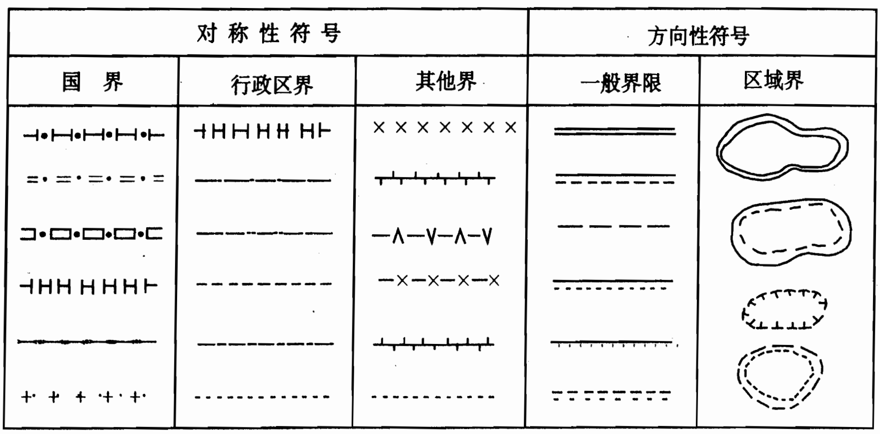


图 9.29　境界线符号

主要境界线还可以加色带强调表示。色带的颜色和宽度根据地图内容、用途、幅面和区域大小来决定。色带有绘于区域外部、区域内部和跨境界线符号绘制三种形式。在海部范围色带也要配合境界线符号绘出。

在地图上应十分重视境界线描绘的正确，以免引起各种领属的纠纷。尤其是国界线的描绘，更应慎重、精确，应严格执行国家相关的规定并经过有关部门的审批，才能出版发行。有边界就可能存在着边界的争议。地图上对有争议的地区和边界的处理反映地图出版者的立场，所以对这些地区境界的表示要慎重。各国边界的争议，常见的有以下几种表示方法：①绘出未定界：两种边界都绘出，一条绘正式符号表明我们的倾向，另一条绘未定符号表示问题的存在；②绘一种正式边界符号表明我们的立场；③岛屿地区加注说明注记，如南美阿根廷南端“马尔维纳斯群岛（阿、英争议）”，并不设底色等。这些问题的处理要符合当时的对外政策。

第十章　专题地图内容表示方法

第一节　专题地图的特点

一、专题地图的内容特点

（一）专题地图的内容

专题地图是突出而较完备地表示一种或几种自然或社会经济现象，而使地图内容专门化的地图。专题地图不同于普通地图，其内容和形式是多种多样的，它侧重于表示某一方面的内容，强调的是“个性”特征，有固定的用图对象。因此，它能满足科学研究、国民经济和国防建设等方面的各种专门用途的要求。专题地图中的地图要素可分为两大类，即地理基础底图要素和专题要素。

地理基础底图要素是起着底图作用的、用以显示制图要素的空间位置和区域地理背景的地理要素，如境界、水系、地貌、交通、植被、居民地等，它们的表示主要受专题地图的类型、制图区域特征和地图比例尺的影响。

专题要素是专题地图上突出表示的主题内容，如人口分布、粮食产量、工农业总产值等，涉及到与地理有关的各个领域、各个部门，内容广泛、种类繁多，从具有一定形体的地理现象到不具形体的抽象概念，应有尽有。它们的表示与制图主题、地图用途、用户的需求有着密切的关系。如何表示好专题要素是专题地图设计的主要问题。

（二）专题要素分类及特点

专题地图以表示各种专题现象为主，也能表示普通地图上的某一个要素如水系、交通网等。因此，所表示的内容十分广泛。既能表示自然地理现象（如气温），又能表示社会经济或人文地理现象（如旅游资源）；既能表示各种具体、有形的现象（如企事业单位分布），又能表示抽象、无形的现象（如气压分布）；既可表示空间状况（如农作物、矿产的分布），又可反映现象在特定时刻的分布状况（如统计到某日期的人口数、某个时段的气温平均值）；既可表示静态的现象（如城市的外贸总量），也可反映动态变化（如人口增长、我国某港口至世界各地的贸易量）；既可反映历史事件（如500年来我国洪涝灾害的分布），又可预测未来变化（如海岸线沉降变幅的预测）。

由于专题地图的种类繁多、用途广泛，涉及的专业也很多，因此，专题要素

的内容十分丰富。可以说，专题地图可以表示出所有与地理有关的现象或研究成果的空间分布及其发展变化规律。为了有效地选择表示方法，寻找专题地图设计规律，需要研究专题要素按空间分布特征的分类。

1. 呈点状分布的专题要素

1）精确定位的点状分布要素。如居民地、石油井、变电所、塔、矿井、古塔等具有确切定位坐标的地物。

2）不精确定位的点状分布要素。如代表某一地区或区域特征的观测点位或中心点位。如气象站、环境监测站等。

2. 呈线状分布的专题要素

1）确定的线状分布要素。如道路、河流、岸线、境界线等线状地物。

2）模糊的路径分布要素。如台风、寒潮等自然现象路径轨迹；人口迁移、进出口贸易等社会经济现象路径轨迹。

3. 呈面状分布的专题要素

1）零星面状分布要素。如小比例尺地图上矿藏分布、沙漠地区绿洲分布、高原上山间的耕地等。

2）断续面状分布要素。如旱地、水田、森林、草场等分布要素。

3）统计面状分布要素。指社会经济现象按某区域单元汇总值，如某县市单位人口数、工业总产值等。

4. 呈体状分布的专题要素

如地形、降水、气温等自然要素均是在空间上连续分布的。

上述这些专题要素都具有如下特征。

1. 空间特征

任何自然和人文现象都存在于一定的空间之中，都具有空间位置。有时只需要表示现象的平面位置，而有时还需表示现象的三维空间位置。

2. 时间特征

事物是会随时间变化的，静态地图通常只表示某一时刻、某一段时间或某些周期性现象的变化情况；动态地图可以表示某些事物或现象随时间发展变化的规律。

3. 属性特征

指专题要素的质量特征和数量特征，如类型、等级等。

专题要素除上述三个基本特征外，还具有空间运动特征以及要素之间的互相联系的特征和内部结构特征等。

（三）专题地图的类型

现代专题地图的内容和形式多种多样，包括自然的、社会经济的及其他方面

的，可以说是“包罗万象”。专题地图的基本类型可以根据内容的专门性、内容的描述方式，以及地图的用途、比例尺等标志进行分类。

1. 按内容的专门性分类

专题地图按其内容的专门性可分为自然地图、社会经济地图和其他专题地图。

(1) 自然地图

自然地图是以各种自然要素为主题的地图，主要有以下几种。

地质图——表示地壳的地质现象为主的地图，如普通地质图、矿产图、岩石分布图、大地构造图、水文地质图等；

地球物理图——表示各种地球物理现象的地图，如地震分布图、火山分布图、地磁图等；

地貌图——表示地表的外部形态、地貌成因等为主要内容的地图，如地貌类型图、地貌区划图、地面切割密度图（图 10.1）等；

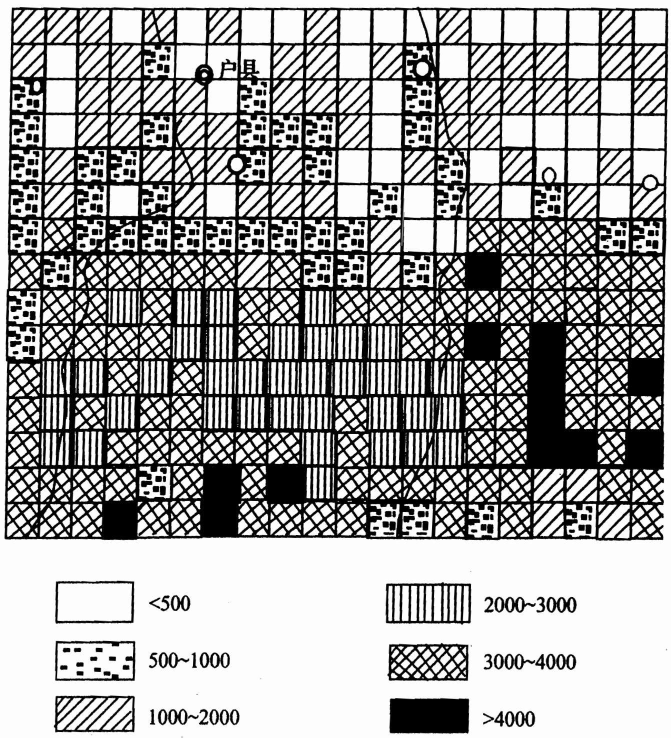


图 10.1　地面切割密度图

水文图——反映水文要素的特征及与其他自然地理现象关系的地图，如陆地水文图、海洋水文图等；

气象气候图——反映气温、降水、气压、日照、风向、风力等气象气候内容

的地图；

土壤图——反映各种土壤分布、形成、利用与改造的地图，如土壤类型图、土壤肥力图、土壤侵蚀图等；

植被图——反映各种植被分布特征及生态、用途、变迁的地图，如植被类型图、植被区划图；

动物地理图——反映动物的分布、生态、迁移、动物区系形成和发展的地图，如兽类、鸟类、鱼类、昆虫类等的分布图；

综合自然地理图——主要表示自然地理综合体的地图，如景观类型图、综合自然区划图等。

(2) 社会经济地图

社会经济地图是以各种社会及经济内容为主题的地图，主要有以下几种。

政区地图——以反映国与国之间的政治关系和国内行政区划及政治、行政中心为主要内容的地图；

人口图——主要反映人口的分布、密度、组成、迁移、人口的自然变动、宗教信仰、民族分布等内容的地图，如人口分布图、人口构成图、民族分布图等(图 10.2)；

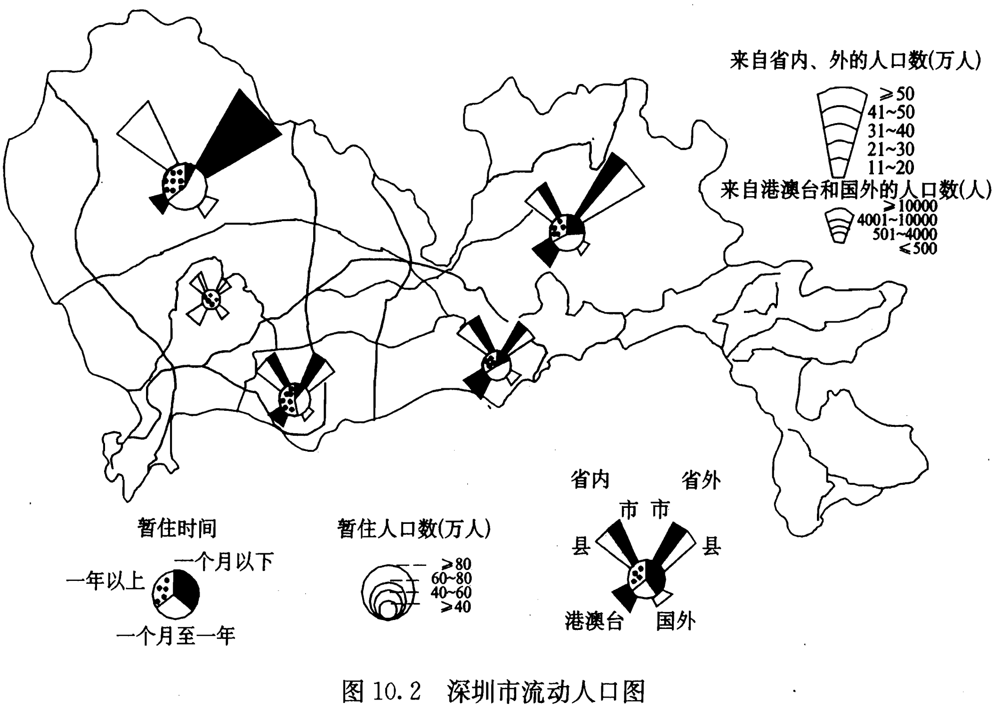


图 10.2　深圳市流动人口图

城市地图——反映城市状况和发展规划的地图，如城市结构图、城市游览图、城市发展规划图等；

历史地图——反映某一历史时期的政治、军事、文化、经济、自然状况等及其联系的地图，如经济历史地图、军事历史地图等；

文化卫生图——表示文化卫生的现状与发展的地图，如居民的文化水平、文化教育、医疗卫生机构的数量及分布图；

经济地图——反映制图区域内一定时期的经济现象的地图，按内容可分为经济全图和部门经济图，如综合经济图、动力资源与矿产分布图和农牧渔业部门图等。

(3) 其他专题地图

是指不能归属于上面两类的，而适用于某种特种用途的专题地图，主要有以下几种。

航海图——用于海洋航行时的定位、定向、保证航行安全的海洋图。着重表示海区与航海有关的要素，包括海岸、干出滩、水深、海底地形、港区建筑物、助航设备、航行障碍物及海洋水文等内容；

航空图——供航空使用的各种地图的总称。着重表示与航空有关的地理要素、航空设施和领航资料等内容，用于计划航线，确定飞行的位置、距离、方向、高度和寻找地面目标；

宇航地图——反映宇宙航行轨道设计、飞行控制、预测预报及记录告示为主题内容的地图；

环境地图——反映自然环境、人类活动对自然环境的影响、环境对人类的危害和治理措施等为主题内容的地图，如环境污染图、环境医学地图、环境资源评价图等；

教学地图——结合教学内容编制的、供学校教学用的地图；

旅游地图——反映各地山水、名胜古迹、土特产品以及与旅游有关的交通、食、宿、娱、购等各项服务设施为主题内容的地图。

2. 按内容的描述方式分类

专题地图按内容的描述方式可分为定性专题地图和定量专题地图。

定性专题地图是指以表示专题要素的分布、质量、类型为主的专题地图。如矿产资源分布图、旅游地图等。

定量专题地图是指以表示专题要素的数量特征为主的专题地图。如科技人员数量图、工农业总产值地图，降水量图等。专题地图大多是定量专题地图。如图10.3所示。

此外，专题地图与普通地图一样，也可以按比例尺大小分为大比例尺、中比例尺和小比例尺专题地图。

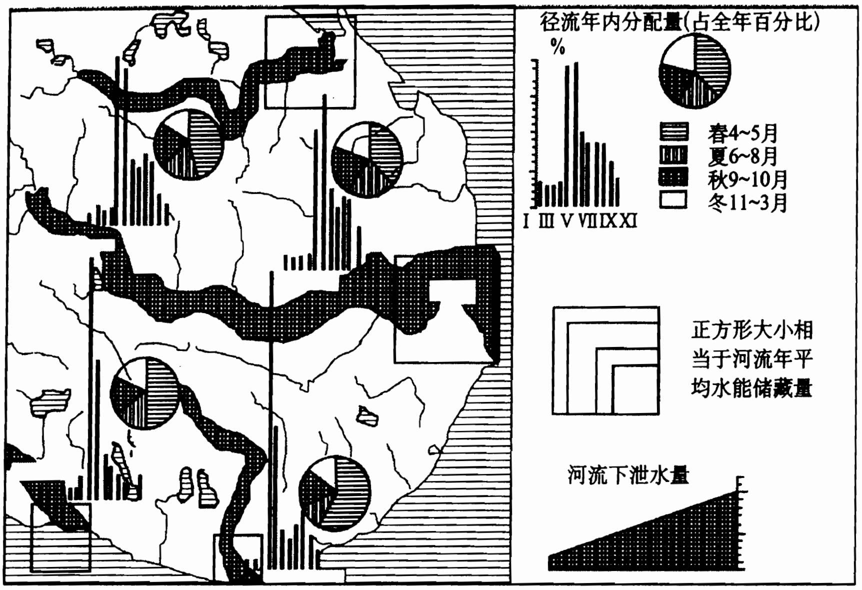


图 10.3　某地水利图

二、专题地图的符号特点

专题地图的专题要素多种多样。既可以是具有一定形体的自然现象、社会经济现象，也可以是不具形体的抽象概念、统计数据；既可以表示其定性特征，还能较好地表示其定量特征。所以，专题地图中的符号与普通地图的符号有一定差别。专题地图具有专门的符号和特殊的表示方法，可以通过地图符号的图形、颜色和尺寸等的变化，使专题要素突出于地图的第一层平面，而地理底图要素则作为背景要素退居第二层平面，并且大量采用抽象性几何符号、统计符号，即点状符号、线状符号和面状符号。符号的形状多种多样、色彩丰富，符号的尺寸与专题要素的数量成比例，既有精确定位的符号又有概略定位的符号，符号设计具有较大的创意空间。

(一) 点状符号

点状符号是指表示定位点上的地图信息的地图符号。点状符号的形状和色彩是专题要素定性特征表示的重要视觉变量，而点状符号的尺寸可以表示专题要素的数量特征。当表示专题要素分级特征时，符号的尺寸表示了要素的等级。当需要表示要素的精确数值时，符号尺寸随数据的不同而改变，即符号的尺寸与所表示的数据成比例。如统计图表符号的尺寸，就是根据不同形状、种类的统计图表，确定单位高度所代表的数量，从而可确定相应指标的符号高度或长度、个

数、百分比等。点状符号不仅可以表示单一要素，还可以表示多种联合要素的各方面特征，如图 10.4 所示。

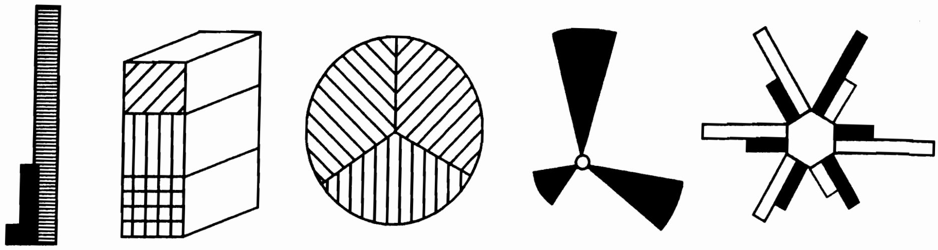


图 10.4　点状符号

（二）线状符号

线状符号是指定位于一条线上的地图信息的地图符号。线状符号主要表示呈线状分布的专题要素的各方面特征。线状符号通常表示的线状分布现象有：界线、轮廓线、等值线、动线等，由不同形状的点状符号沿线段排列组合而成。形状变量的应用使线状符号具有不同的特征：实线、双实线、虚线、点线、点虚线等。如图 10.5 所示。线状符号由粗到细再到虚线的变化体现专题要素类型由高级到低级（大类—亚类—子类）的变化。利用形状、色彩视觉变量表示线状分布的专题要素的质量特征、类型特征；利用尺寸视觉变量表示要素的数量特征。

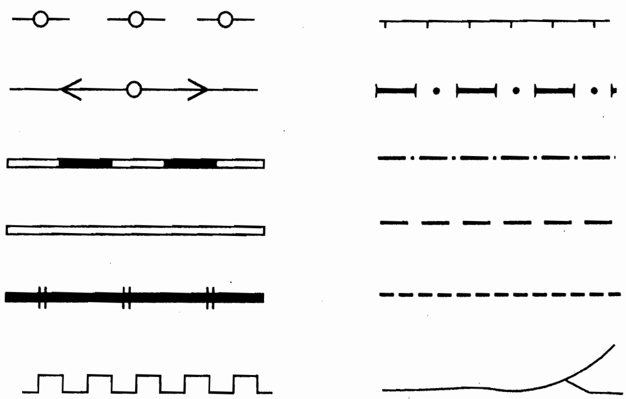


图 10.5　线状符号

（三）面状符号

面状符号以面作为符号本身，主要表示呈面状分布的要素。面状符号由面符号和轮廓线组成。这里仅指面状符号设计，其视觉变量是色彩和图案。色彩通过不同的色相来表示要素的定性和分类，而用明度和彩度的变化来表示要素的顺序和间隔分级，有时也使用色彩的其他性质，如用色彩的远近感来表示等级。图案

也可以表示面状符号的定性、分类和分级，有时面状符号可以用色彩（底色）加图案来表示，这主要是用于强调某个方面，例如在用不同的图案分类后，又给每种图案以不同的色彩以加强分类的效果。面状符号在表示数量差异时通常用明度、饱和度的变化来体现，或用图案纹理的疏密来体现。

三、专题地图的表示特点

（一）专题要素的表示等级

专题要素表示等级，指的是专题要素表示的详细程度或者说是专题要素各方面特征的表示，即每一个专题要素的一种详细程度规定为一个表示等级。通常专题要素表示等级可分为五级，定性表示、分类表示、顺序分级、间隔分级和数值表示。这样可以更好地适应地图符号化的要求。

定性表示　只表示专题要素的性质，而不说明它的类型。

分类表示　要求表示专题要素的类型，例如把湖泊分为咸水湖和淡水湖。分类指标可以是定性的，也可以是定量的，如通过某些指标的综合评判，把某区域分为工业区和农业区。

顺序分级　只表示专题要素的等级概念，分级指标可以是定性的，也可以是定量的。例如把城市分为大、中、小城市。

间隔分级　用于表示专题要素的定量特征，等级之间间距是确定的。如把粮食亩产分为四级：300kg 以下，300～400kg，400～600kg，600kg 以上。

数值表示　精确地表示要素的数量，如粮食亩产 485kg。

这样来描述专题要素表示的详细程度，不仅可以更好地适应专题地图符号设计，有效地进行表示方法的选择，而且对专题要素数据处理也有较大的影响。

（二）专题地图表示

专题地图的表示主要是地理底图要素的表示和专题要素的表示。

1. 地理底图的作用及表示特点

地理底图是专题地图的地理基础，专题信息的存储、表达、传递、提取，都必须通过底图才能实现。地理底图的作用主要表现在如下几方面。

（1）地理底图是建立专题地图的“骨架”

专题地图是反映某专题信息的空间特征及分布规律的图形表示。有些专题信息本身并不具有空间特征，只有将它们以地图符号的形式落实到具有地图基本特性的地理底图上时，才显示出专题信息的空间特征。

（2）地理底图是转绘专题内容的控制基础

从编制专题地图的具体步骤看，必须把大量各种类型的专题内容转绘到相应

的空间位置，并且必须具有较高的几何精度，以保证专题地图的可量测性与可比性。地理底图的数学基础，如地理坐标或平面直角坐标系、比例尺，以及地理底图所选取的地理要素，如水系、居民点、交通网。境界线以及地形等高线等，都可以为专题要素的定位的精度提供保证。

(3) 地理底图有助于更深入地提取专题地图的信息

专题信息是自然和社会经济活动中某种客观存在的事物或现象，它们不会孤立地发生、发展，总是与其他地理现象相互联系或制约，这些地理要素经常就是底图要素。而地理底图中所选取的要素，如果不是以全要素选取的普通地图，也必定是其中某一个或某几个与所反映专题密切相关的要素。因此，专题信息所依附的地理底图，不仅能在底图上直接量测以获取信息，更重要的是通过专题要素与地理底图的相互联系，分析出更多专题内容的产生、分布、发展的规律。如地形、水系、交通网、居民地等对区域性的工业布局所产生的积极作用就十分明显。编图者如能正确组织底图内容，会使读图者可能获取比编图者预期设想的更多的专题信息。

底图内容的选取可以有详有略。底图内容的选取是由拟编专题地图的内容、用途、比例尺以及区域地理特征确定的。如反映森林分布，除水系起转绘控制的作用外，地形是必须表示的，而居民地、交通网、行政境界线一般都不必选取。编制教学地图时，底图要素应尽可能减少。在一般情况下，底图内容随比例尺的缩小而减少是正常的。而在考虑区域地理特征时，水网密布区的河流在选取时删减的幅度要比河流稀疏区大，但其总量仍应比稀疏区多。

地理底图是专题地图的地理基础，底图内容选取过少就不能发挥应有的作用；但底图要素毕竟又是在地图的第二层平面上出现的，如果内容过于繁杂，反而干扰主题内容。这两种情况都会影响易读性及专题地图的整体效果。

地理底图是以普通地图为基础，根据专题内容的需要重新编制的。因此，其表示方法与普通地图内容的表示方法基本一样，只是制图综合程度要大一些，符号的色彩、形状设计要考虑专题要素的色彩、形状设计，注意专题地图的视觉层次对比。

2. 专题要素的表示特点

专题要素是专题地图的主要表示内容，专题要素的表示可以概括为如下几个特点。

(1) 专门的符号和特殊的表示方法

表示专题要素具有专门的符号和表示方法不同于普通地图，具有很大的灵活性，采用了各种统计图表符号、象形符号及其组合等。

(2) 图面层次感强

这是由专题地图特点决定的。首先，是专题要素和地理底图要素不在同一个

层次上，底图要素处于较低的图面层次，专题要素处于较高的图面层次（见图10.6)；其次，如果表示两个以上专题要素，那么专题要素之间也有主次层次之分。

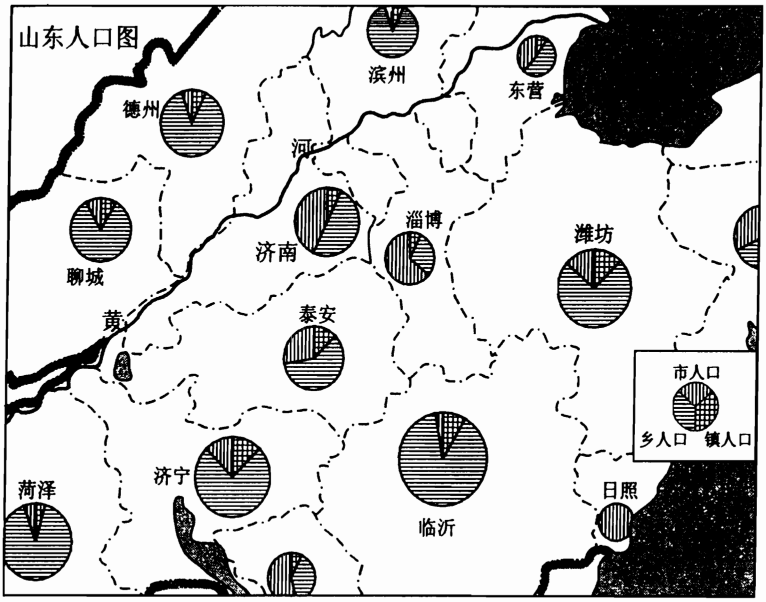


图 10.6　山东人口图

(3) 反映现象的静态状况和动态状况与发展规律

专题地图不仅可以表示现象的现状、分布规律及其相互联系，而且还能反映

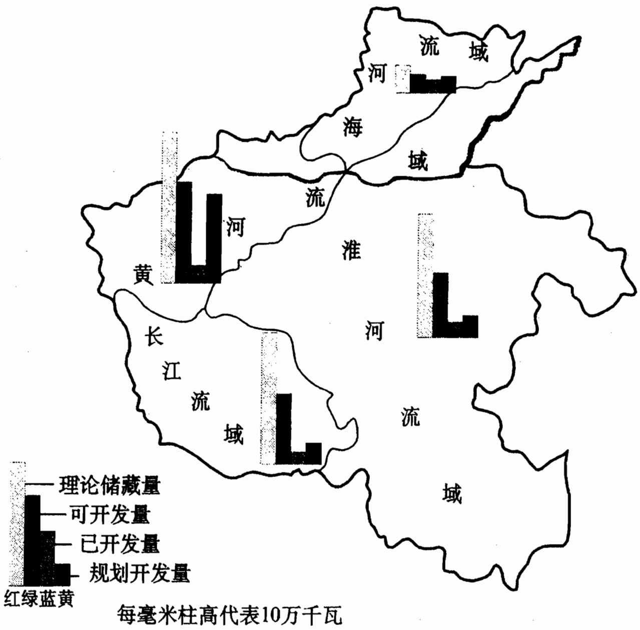


图 10.7　河南省四大流域

现象的动态变化与发展规律，包括运动的轨迹，运动的过程，质和量的增长及发展趋势等，如进出口贸易、人口迁移、经济预测、气候预测等。

(4) 表示现象的定性与定量特征

专题地图不仅可以表示现象的定性特征，如质量、类别特征；还可以较好地表示出现象的定量特征，如现象的分类、分级、绝对数量的特征（见图 10.7）等，可以将数据的各种分析的结果符号化，制作出预测地图、空间趋势面分析地图、各种区划地图等定量专题地图。

第二节　专题要素的基本表示方法

根据长期专题地图制图实践，专题要素表示方法可归纳为以下九种。

一、定点符号法

定点符号法，是用以点定位的点状符号表示呈点状分布的专题要素各方面特征的表示方法。符号的形状、色彩和尺寸等视觉变量可以表示专题要素的分布、内部结构、数量与质量特征。定点符号法是用途较广的表示法之一，如居民地、企业、学校、气象站等多用此法表示。这种表示法能简明而准确地显示出各要素的地理分布和变化状态。

常用的定点符号按形状可分为几何符号、文字符号和象形符号，如图 10.8、图 10.9 所示。

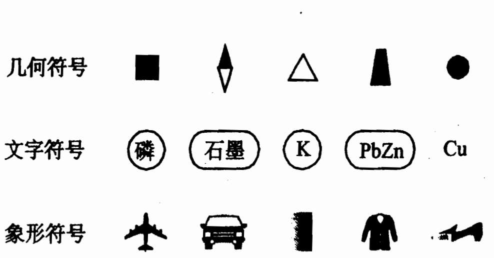


图 10.8　定点符号的类型

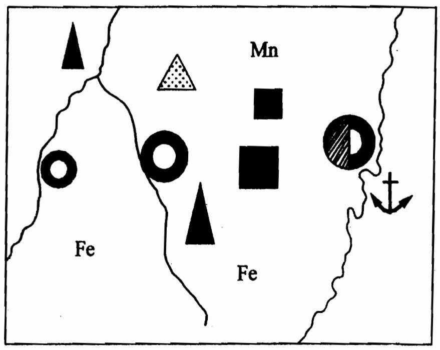


图 10.9　某地区工业分布

定点符号法的实现实质上是进行点状符号的设计。

(一) 定点符号的形状、色彩

形状、色彩视觉变量可以区分专题要素的质量差别，表示其定性或分类的情况。其中，色彩（指色相）差别比形状差别更明显，特别是在电子地图设计中色

彩尤为重要。表示多重质量差别时，可以用点状符号的色彩表示主要差别，而用其形状表示次要差别；反之亦可。

（二）定点符号的尺寸、亮度

点状符号的尺寸大小或图案的亮度变化可以表示专题要素的数量特征和分级特征。实际设计中，主要是利用尺寸这个视觉变量，所以实质上是进行分级点状符号和比率符号的设计。但需要注意的是不能根据比率符号在地图上所占面积来判断专题要素的分布范围。在同一点上通过相同形状，不同尺寸的符号叠置可以反映专题要素的发展变化，如图 10.10 所示。

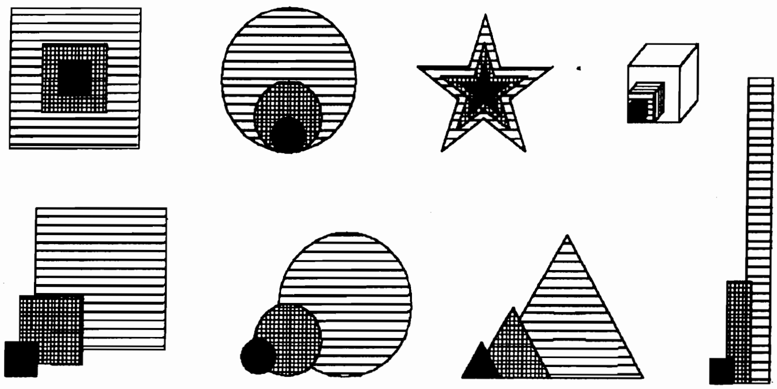


图 10.10　相同形状，不同尺寸符号的叠置

定点符号的大小表示事物的数量差别。若符号的尺寸同它所代表的数量有一定的比率关系，称为比率符号，否则是非比率符号。非比率符号可以表示非常模糊的数量关系，例如用大小不同的符号表示企业规模的大、中、小，粮食产量的高、中、低，而不显示其具体的数量关系和对比。但在专题地图上大部分是用比率符号，比率符号的大小同它所代表的数量有关。如图 10.11 所示，比率符号分为绝对连续比率和条件连续比率两种。

1. 绝对连续比率

绝对连续比率是指符号的面积比等于其代表的数量之比，且只要用一个一定大小的符号来代表。为了确定各个符号的大小，先确定最小符号的大小，为了计算方便，将最小的符号大小定为 1.0mm。最小符号代表的数值称为比率基数。决定符号大小的线称为基准线，如圆的直径、正方形的边长、正三角形的高。由于基准线同面积是平方关系，根据（10-1）式计算各符号的基准线长度。

$$d = \sqrt{r_1^2 \cdot x} \tag{10-1}$$

式中：d——符号的基准线长度；r_1——最小符号的基准线长度，定为 1.0mm；

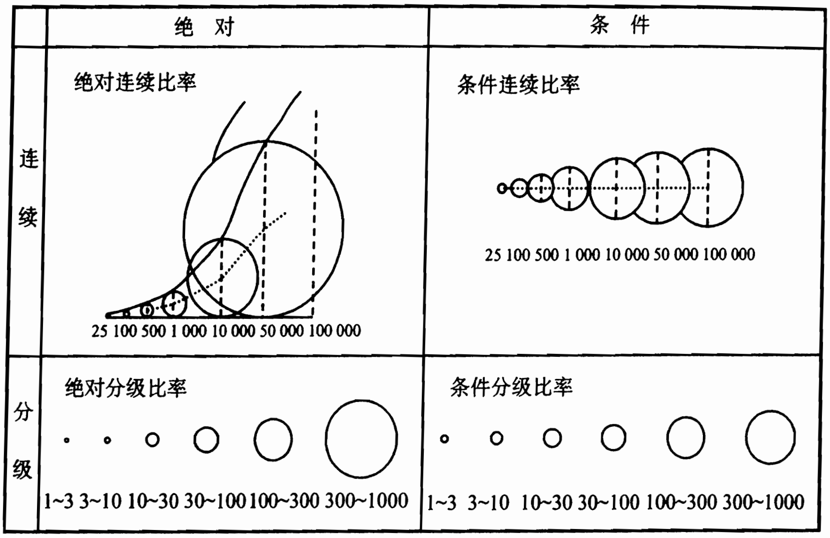


图 10.11　符号的各种比率

x——符号代表数量同比率基数（即基准线长为 r_1 代表的数量值）间的倍数。

例如，最小符号代表的数量是 125，基准线长度为 1.0mm，那么代表 1000 的符号直径应为 $d=\sqrt{1^2\times 8}=2.828$mm；代表 10000 的符号直径应为 $d=\sqrt{1^2\times 80}=8.944$mm。

2. 条件连续比率

按照绝对连续比率关系，可计算出各不同数值对应的符号面积。如果所表达的数列其数量悬殊过大，势必造成大数值的符号面积过大，图面拥塞；小数值的符号面积过小，图上极不显眼。为此，可对计算的基准线长度附加上一个函数的条件，例如对其开平方，使大数值的符号面积缩减的速度更快；同样也可对其乘方，使一组相差不大的数列代表的符号扩大其差异。这种对基准线长度附以函数条件，以改变其大小，且数值与符号也一一对应的符号称为条件连续比率符号。

3. 绝对分级比率

如果我们表达的数列不是物体连续的真实的数值，而是其分级以后的数值，如 0～20，20～40，…每一个等级设计一个符号，处于这个等级中的各个物体，尽管其真实数量是不相等的，但由于它们处于同一个等级中，仍用代表这个等级的同等大小的符号来表现它们。用分组的组中值根据（10-1）式确定符号基准线长度的称为绝对分级比率。

4. 条件分级比率

假若表达的是分级数据，符号大小又是根据分组的组中值附加一定的函数条件计算出来的，这种比率关系称为条件分级比率。

运用分级比率可大大减少符号的计算工作量，也便于绘制，并在分级区值内不因某些数值的变化而改变符号的大小，能较好地保持地图的现势性，因此常被采用。

(三) 定点符号的配置

在专题地图中采用定点符号法时，应该注意符号的定位。首先，必须准确地表示出重要的底图要素（河流、道路、居民点等），这样有利于专题要素的定位；第二，运用几何符号可以把所示物体的位置准确地定位于图上；第三，当几种性质不同的现象（但属同一类型、且可量测）同定位于一点，产生不易定位及符号重叠时，可保持定位点的位置，将各个符号组织成一个组合结构符号（即非结构型符号），尽管它们同定位于一点，但仍然相互独立，如图 10.12 所示；第四，当一些现象由于指标不一而难于合并时，可将各现象的符号置于相应定位点周围。

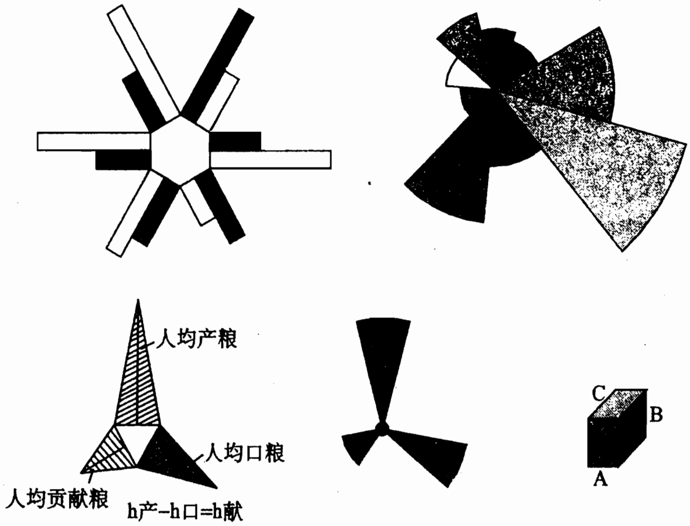


图 10.12　组合符号

二、线状符号法

线状符号法是用来表示呈线状或带状延伸的专题要素的一种方法。

线状符号在普通地图上的应用是常见的，如用线状符号表示水系、交通网、境界线等。在专题地图上，线状符号除了表示上述要素外，还表示各种几何概念的线划，如分水线、合水线、坡麓线、构造线、地震分布线和地面上各种确定的境界线、气象上的峰、海岸等，可以表示用线划描述的运动物体的轨迹线、位置线，如航空线、航海线等，能显示目标之间的联系，如商品产销地、空中走廊

等，以及物体或现象相互作用的地带。这些线划都有其自身的地理意义、定位要求和形状特征。

线状符号可以用色彩和形状表示专题要素的质量特征，也可以反映不同时间的变化。但一般不表示专题要素的数量特征。如区分海岸类型（图 10.13 所示），区分不同的地质构造线，表示某河段在不同时期内河床的变迁位置。

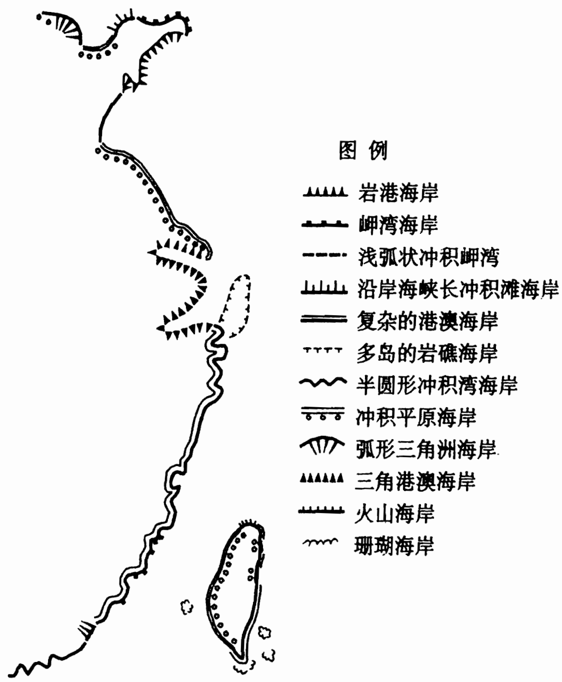


图 10.13　中国海岸类型

线状符号有多种多样的图形。一般来说，线划的粗细可区分要素的顺序，如山脊线的主次。对于稳定性强的重要地物或现象一般用实线，稳定性差的或次要的地物或现象用虚线。

专题地图上的线状符号常有一定的宽度，在描绘时与普通地图不完全一样。在普通地图上，线状符号往往描绘于被表示物体的中心线上；而在专题地图上，有的描绘于被表示物体的中心线（如地质构造线、变迁的河床），有的将其描绘于线状物体的某一边，形成一定宽度的颜色带或晕线带，如海岸类型和海岸潮汐性质。

三、质底法

质底法是把全制图区域按照专题现象的某种指标划分区域或各类型的分布范围，在各界线范围内涂以颜色或填绘晕线、花纹（乃至注以注记），以显示连续

而布满全制图区域的现象的质的差别（或各区域间的差别），如图 10.14 所示。由于常用底色或其他整饰方法来表示各分区间质的差别，所以称质底法。又因为这种方法着重表示现象质的差别，一般不直接表示其数量特征，故也称质别法。此法常用于地质图、地貌图、土壤图、植被图、土地利用图、行政区划图、自然区划图、经济区划图等。

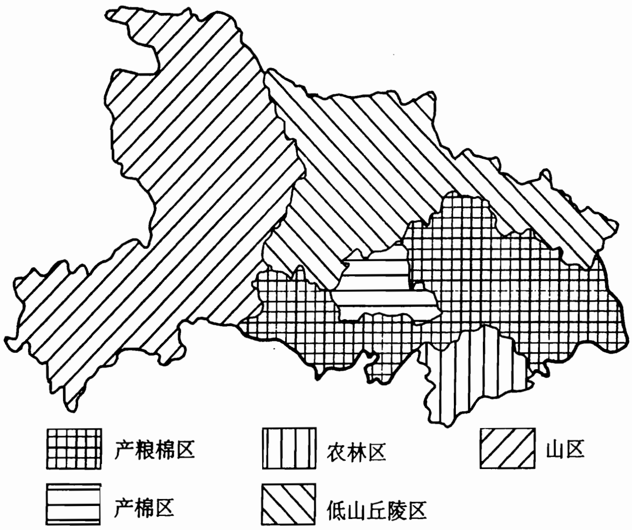


图 10.14　质底法

采用质底法时，首先按专题内容性质决定要素的分类、分区；其次勾绘出分区界线；最后根据拟定的图例，用特定的颜色、晕线、字母等表示各种类型分布。类型或区域的划分既可以根据专题要素的某一属性（如地质图中按年代或岩相），也可根据组合指标（如农业区划图根据产量、农业机械水平、湿度、温度、降雨量等多种指标），采用分类处理的数学方法进行划分。

在质底法图上，图例说明要尽可能详细地反映出分类的指标、类型的等级及其标志，并注意分类标志的次序和完整性。质底法具有鲜明、美观、清晰的优点。但在不同现象之间，显示其渐进性和渗透性较为困难。图上某一区域只属于一种类型或一种区划。质底法主要显示现象间质的差别，不表示数量大小。质底法中对各种现象的设色有比较严密的规定，要反映现象的多级分类概念，因此要从分类的角度来设计颜色。

四、等值线法

等值线是由某现象的数值相等的各点所连成的一条平滑曲线，如等高线、等温线、等降雨量线、等磁偏线、等气压线等。等值线法就是利用一组等值线表示制图现象分布特征的方法。等值线法的特点是：

1）等值线法适宜表示连续分布而又逐渐变化的现象，此时等值线间的任何点可以用插值法求得其数值。如自然现象中的地形、气候、地壳变动等现象。

2）对于离散分布而逐渐变化的现象，通过统计处理，也可用等值线法表示。这种根据点代表的面积指标绘出的等值线称为伪等值线（见图 10.15）。

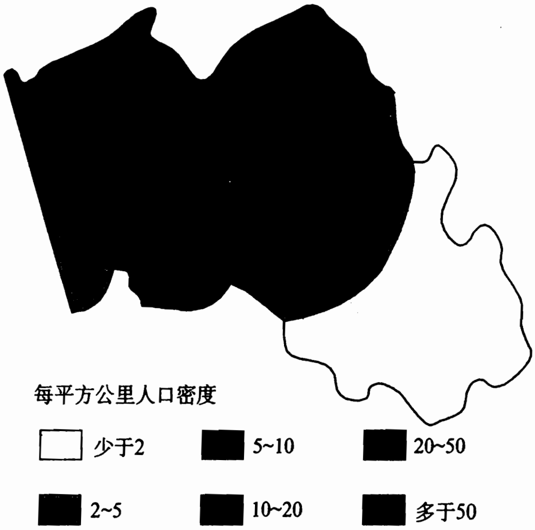


图 10.15　伪等值线表示的人口密度

3）等值线法既可反映现象的强度，还可反映随着时间变化的现象，如磁差年变化；既可反映现象的移动，如气团季节性变化，还可反映现象发生的时间和进展，如冰冻日期等。

4）采用等值线法时，每个点所具有的数量指标必须完全是同一性质的。

5）等值线的间隔最好保持一定的常数，这样有利于依据等值线的疏密程度判断现象的变化程度。另外，如果数值变化范围大，间隔也可扩大（如地貌等高距那样）。

6）在同一幅地图上，可以表示二、三种等值线系统，显示几种现象的相互联系。如图 10.16 所示，表示 7 月的等温线和等降水线。但这种图易读性相应降低，因此常用分层设色辅助表示其中一种等值线系统。

等值线的绘制方法包括手工绘制和计算机绘制，其基本绘制过程如图 10.17 所示。

手工绘制等值线时，在图上把数据点的位置确定下来，确定等值线间距，再把各点连线，在线上进行内插，即按相邻控制点之间的距离比例得到某值，然后由该值确定等值线的位置，最后将等值的诸点连成一条平滑曲线。一般来说，大多数手工内插方法是假设数据点间呈均匀或线性变化。

计算机绘制等值线的算法不是很复杂，比较容易实现。通常分两步进行：第

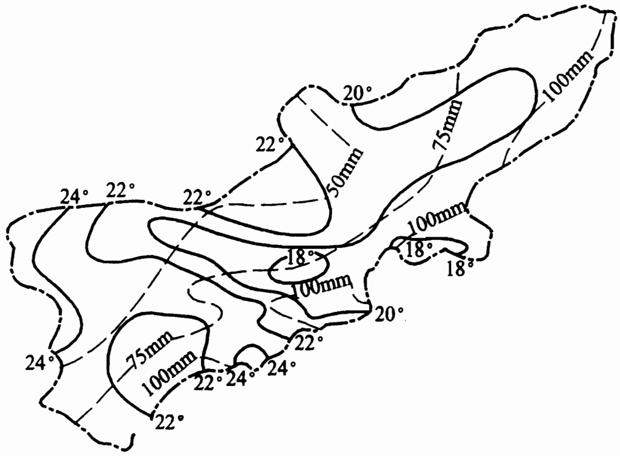


图 10.16　七月气温和降水

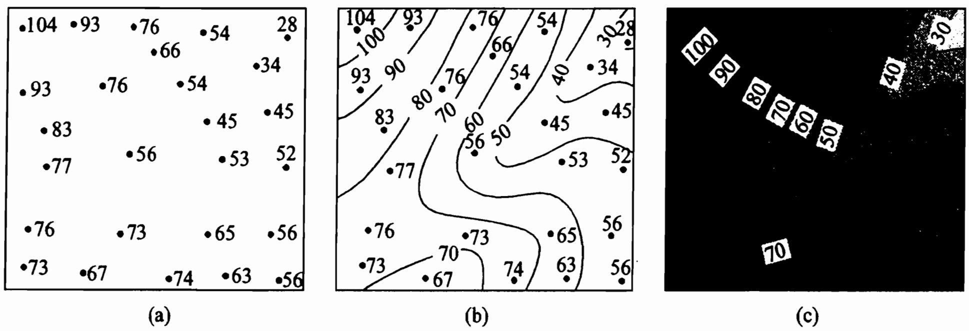


图 10.17　等值线的绘制过程

一步是初步内插，即计算出制图区域加密网格上的所有数据点的值；第二步是再次内插，它是根据内插模型确定等值线的位置，通常采用线性内插法。计算机绘制等值线的方法有网格法和三角网法。

五、范围法

范围法是用面状符号在地图上表示某专题要素在制图区域内间断而成片的分布范围和状况，如煤田的分布、森林的分布、棉花等农作物的分布等。范围法在地图上标明的不是个别地点，而是一定的面积，因此又称为面积法。

范围法实质上也是进行面状符号的设计，其轮廓线以及面的色彩、图案、注记是主要的视觉变量。范围法也只是表示现象的质量特征，不表示其数量特征，即表示不同现象的种类及其分布的区域范围，不表示现象本身的数量。

区域范围界线的确定一般是根据实际分布范围而定，其界线有精确和概略之

分。精确的区域范围是尽可能准确地勾绘出要素分布的轮廓线。概略范围是仅仅大致的表示出要素的分布范围，没有精确的轮廓线，这种范围经常不绘出轮廓线，用散列的符号或仅用文字、单个符号表示现象的分布范围，如图 10.18 所示。

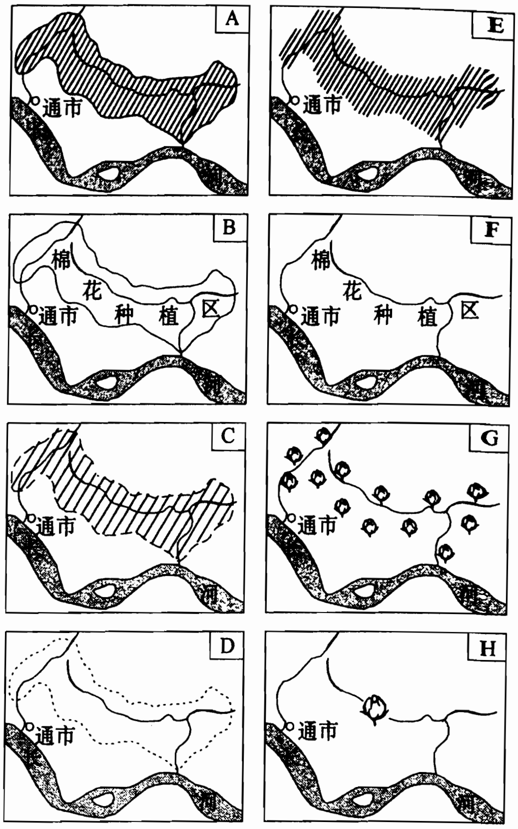


图 10.18　范围法的表示

六、点值法

对制图区域中呈分散的、复杂分布的现象，如人口、动物分布、某种农作物和植物的分布，当无法勾绘其分布范围时，可以用一定大小和形状的点群来反映。即用代表一定数值的大小相等、形状相同的点，反映某要素的分布范围、数量特征和密度变化，这种方法叫做点值法。

点子的大小及其所代表的数值是固定的；点子的多少可以反映现象的数量规模；点子的配置可以反映现象集中或分散的分布特征；在一幅地图上，可以有不同尺寸的几种点，或不同颜色的点。尺寸不同的点表示数量相差非常悬殊的情况；颜色不同的点，表示不同的类别，如城市人口分布和农村人口分布。点值法主要是传输空间密度差异的信息，通常用来表示大面积离散现象的空间分布。如人口分布、农作物播种面积、牲畜的养殖总数等，如图 10.19 所示。

用点值法作图时，点子的排布方式有两种：一是均匀布点法；二是定位布点法。如图 10.20 所示。

均匀布点法就是在相应的统计区域内将点均匀分配，统计区域内没有密度差别，这是它的缺点。为了克服均匀化的缺点，可以采取缩小统计单元的办法，例如，欲做某省小比例尺某种作物面积分布的点值图，图上以市地为区划单位来阐明各区现象分布的特征，在编图作业中可以取县作为统计单元布点。布点时按县区范围均匀配置，但地区内各县之间就不是均匀的了，此时各县之间不应留很大间隔。

定位布点法应按照现象分布的地理特征来配置点子，此时在同一统计单元内，不同的地形小单元如平原区、山区等，现象的密度可能是不同的。因此，点

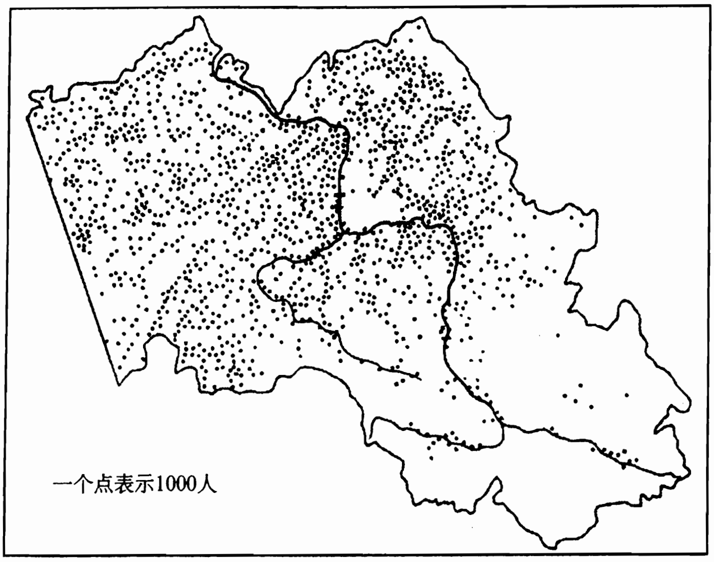


图 10.19　点值法

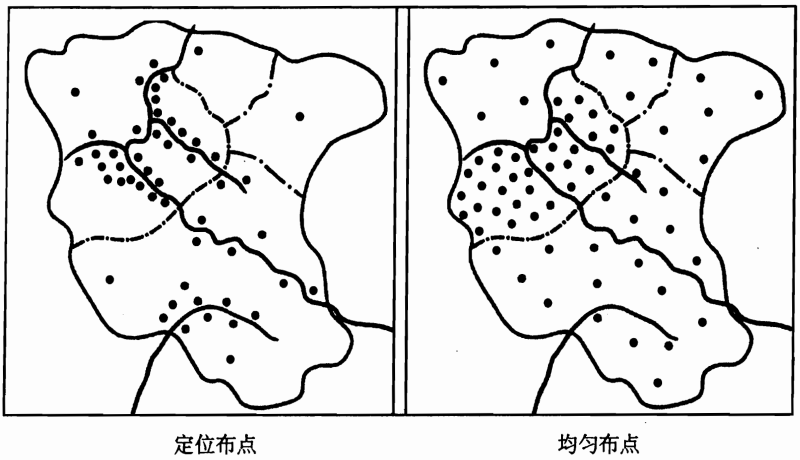


图 10.20　点的配置

子应按地理单元加权分配，在缺乏这些单元统计数据的情况下，可参考分布情况或一般规律确定一定的比例（总和为 1），以此作为权值来分配点子。

点值法中的一个重要问题是确定每个点所代表的数值（权值）以及点子的大小。点值的确定应顾及各区域的数量差异，但点值确定得过大或过小都是不合适的。点值过大，图上点子过少，不能反映要素的实际分布情况；点值过小，在要素分布稠密地区，点子会发生重叠，现象分布的集中程度得不到真实的反映。因此，确定点值的原则是，在最大密度区点子不重叠，在最小密度区不空缺。例如

在人口分布图上，首先规定点子的大小（一般为 0.2～0.3mm），然后用这样大小的点子在人口密度最大的区域内点绘，使其保持彼此分离但又充满区域，数出排布的点子数再除以该区域的人口数后凑成整数，即为该图上合适的点值。

七、动线法

动线法是用箭形符号的不同宽窄来显示地图要素的移动方向、路线及其数量和质量特征，如自然现象中的洋流、风向，社会经济现象中的货物运输、资金流动、居民迁移、军队的行进和探险路线等。

动线法可以反映各种迁移方式。它可以反映点状物体的运动路线（如船舶航行）、线状物体或现象的移动（如战线移动）、面状物体的移动（如熔岩流动）、集群和分散现象的移动（如动物迁徙）、整片分布现象的运动（如大气的变化）等。

动线法实质上是进行带箭头的线状符号的设计，通过其色彩、宽度、长度、形状等视觉变量表示现象各方面特征。动线符号有多种多样的形式，如图 10.21 所示。

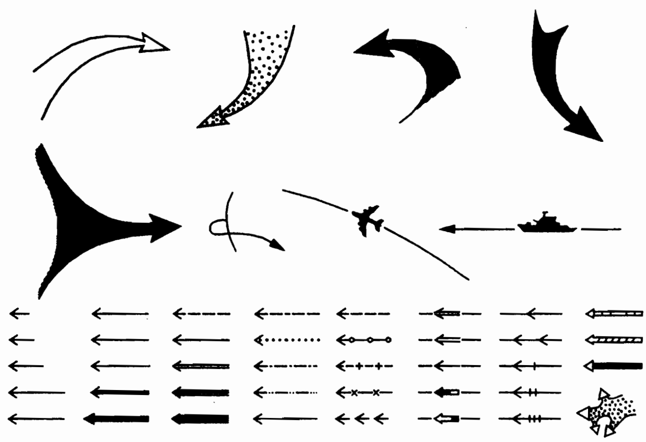


图 10.21　箭形符号

其中以线状符号的箭头指向表示运动方向，以线状符号的形状、色相表示现象的类别或性质，如图 10.22 所示，表示两股发源于不同地区的台风，“7”、“8”分别表示 7 月和 8 月的台风路径；以线状符号的宽度尺寸或色彩的亮度变化表示现象的等级或数量特征。

以线状符号的长度尺寸表示现象的稳定程度；整个运动线符号的位置表示运动的轨迹。表示河流的流量，用绝对连续比率符号，表示货流强度、输送旅客量可用绝对的或条件的分级比率符号（见图 10.23）。

用运动线法表示现象的结构是比较复杂的。最引人注目的一种方法，是把往返货物按相应货物的颜色或图案划分成与各货物数量成比率的组合带，往返各置

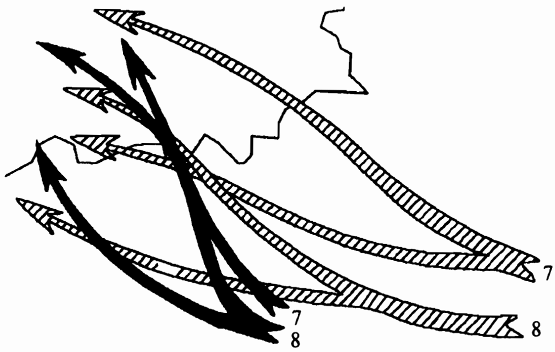


图 10.22　7 月和 8 月的台风路径

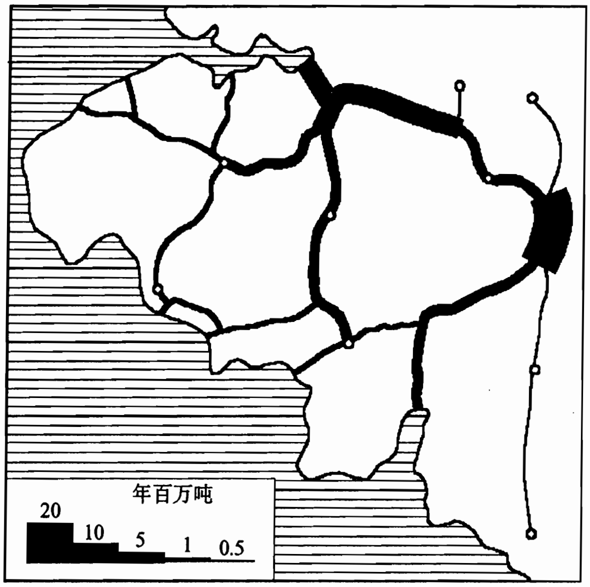


图 10.23　比率线状符号示例

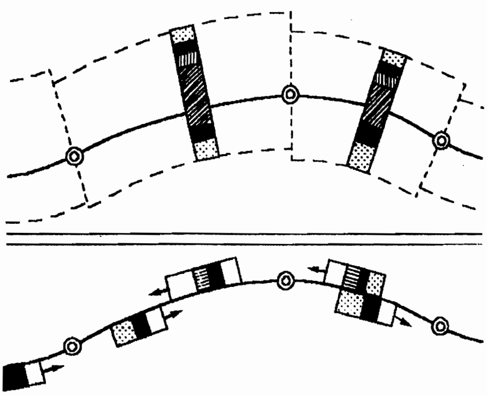


图 10.24　运动线法表示现象结构示例

于道路的一侧。欲使货流结构和各货物的数量指标能清楚地被显示，只有带的宽度较大时才有可能。由于货流带较宽，所以这种表示方法对运输路线只能是概略的，并且载负量较大，使得图面拥挤而影响易读性。改进方法是取条带一段横剖面，再沿线路平放，剖面前头加上箭形以示流向，如图 10.24 所示。

八、等值区域法

等值区域法是以一定区划为单位，根据各区划内某专题要素的数量平均值进行分级，通过面状符号的设计表示该要素在不同区域内的差别的方法。其中平均数值主要有两种基本形式：一种是比率数据或相对指标，又称强度相对数，是指两个相互联系的指数比较。如人口密度（人口数/区域面积）、人均收入（总收入/人口数），人均产量等等，这些比率数据，可以说明数量多少、速度快慢、实力强弱和水平高低，能够给人以深刻印象。另一种形式是比重数据，又称结构相对数，表示区域内同一指标的部分量占总量的比例。如耕地面积占总面积的百分比，大学文化程度人数占总人数的百分比，等等。这些数据也可以用来表示制图现象随时间的变化，如各行政区单位人口增减的百分比或千分比。可以较准确地显示区域发展水平。

如图 10.25 所示，等值区域法实质上就是用面状符号表示要素的分级特征。具体地说就是用面状符号的色彩或图案（晕线）表示分级的各等值区域，通过色彩的同色或相近色的亮度变化以及晕线的疏密变化，反映现象的强度变化，而且要有等级感受效果。现象指标增长的用暖色，指标越大，色越浓（晕线越密）；现象指标减少的用冷色，指标越小，色越淡（晕线越稀）。

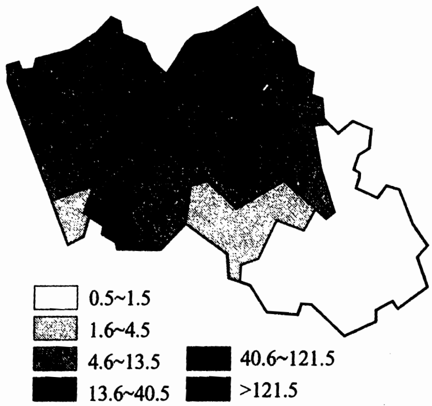


图 10.25　等值区域法的平面表示

等值区域法是一种概略统计制图方法，因此对具有任何空间分布特征的现象都适用。但由于等值区域法显示的是区域单元的平均概念，不能反映单元内部的差异，所以，区划单位愈小，其内部差异也愈小，反映的现象特点愈接近于实际真实情况。

九、分区统计图表法

分区统计图表法是一种以一定区划为单位，用统计图表表示各区划单位内地

图要素的数量及其结构的方法。统计图表符号通常描绘在地图上各相应的分区内，如图 10.26 所示。统计图表法表示每个区划内现象的总和，而无法反映现象的地理分布，因此，它是一种非精确的制图表示法，属统计制图的一种。在制图时，区划单位越大，各区划内情况越复杂，则对现象的反映越概略。可是分区也不能太小，否则会因分区面积较小而难以描绘统计图表及其内部结构。分区统计图表法显示的是现象的绝对数量指标，而不是相对数量指标，可以用由小到大的渐变图形或图表反映不同时期内现象的发展动态，如图 10.27 所示。

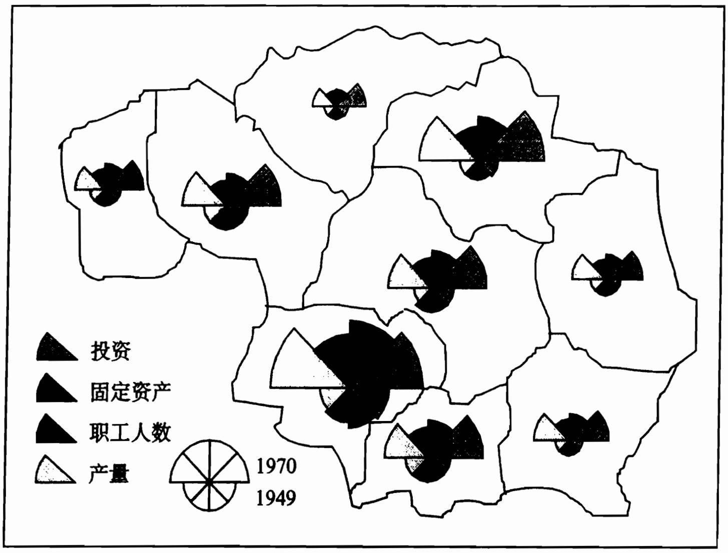


图 10.26　分区统计图表法示例

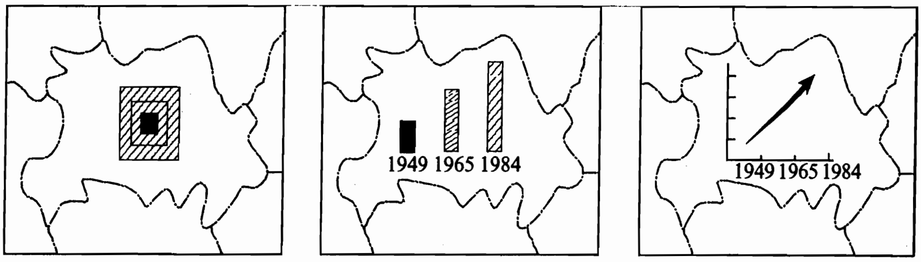


图 10.27　表示发展动态

第三节　专题要素的其他表示方法

专题要素除上述的九种基本表示方法用以表达不同空间分布、时间分布的物体和现象外，还有一些值得介绍的统计图表及其他新的表示方法。统计图表法能

表示多种制图现象及其各方面特征，与之相适应的统计图表符号多种多样。

一、金字塔图表法

由表示不同现象或同一现象的不同级别数值的水平柱叠加组成的图表，常用于表示不同年龄段的人口数，其形状一般呈下大上小，形似金字塔，故称为金字塔图表。

金字塔图表还可适用于表示人口的婚姻状况、受教育程度，不同产业部门的产值、利税，不同部门的职工人数、收入和消费水平等。它可以用水平柱长表示数量特征，颜色表示质量（类别）差异，并反映现象的结构特征（见图 10.28）。

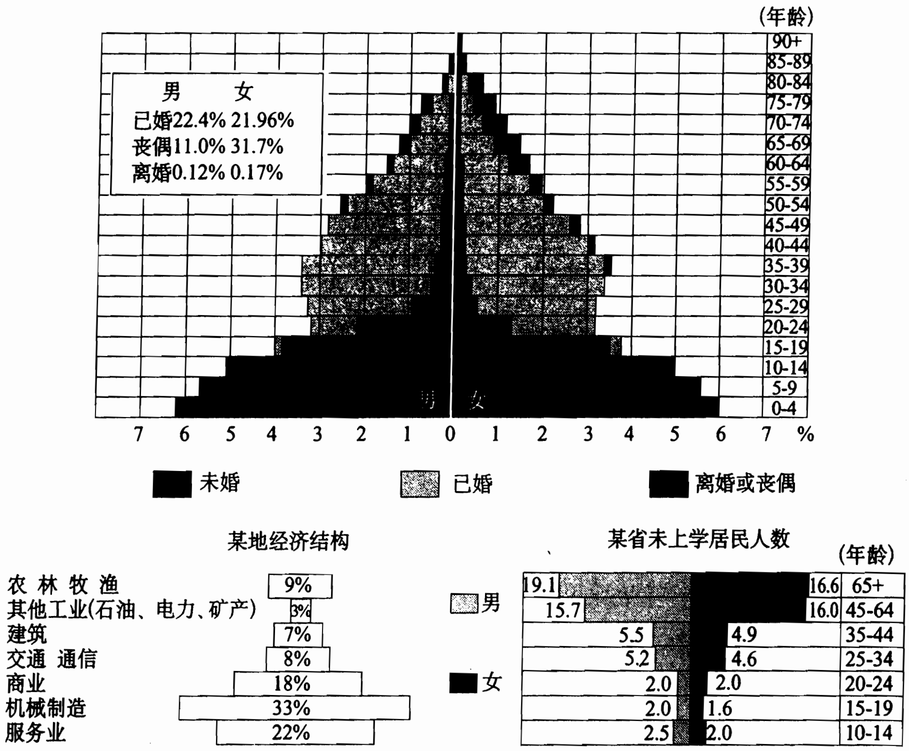


图 10.28　几种金字塔图表

统计图表可以表示整个区域的指标，置于地图幅面的适当位置，也可以作为分区统计图表放在各区划单位内，是专题地图中使用较多的一类统计图表。

二、三角形图表法

三角形图表法是一种在做法和表示上都十分特殊的表示方法。它是根据各个区划单元（一般是行政区划单元）某现象内部构成的不同比值，通过图例区分出不同的类别，然后用类似质底法的形式表示出来。由于它表示内部构成的指标只

允许归成三项（或三类），因此能用三角形图表来表示它们。

（一）结构原理

三角形图表的结构原理是基于在一个等边三角形中，任意点至三条边的垂距总和相等。如果我们把这个总长作为 1（100%），则任意点至各边的垂距长就是三个亚类各占的比例值。为了量度方便，将正三角形各边均匀地划分为 10 等份，使三角形形成格网，这就可以比较容易地读出三条垂线的长度（百分比）。百分比值可以按一定规则（顺时针或逆时针方向）分划。如图 10.29 中，我们可以读出：

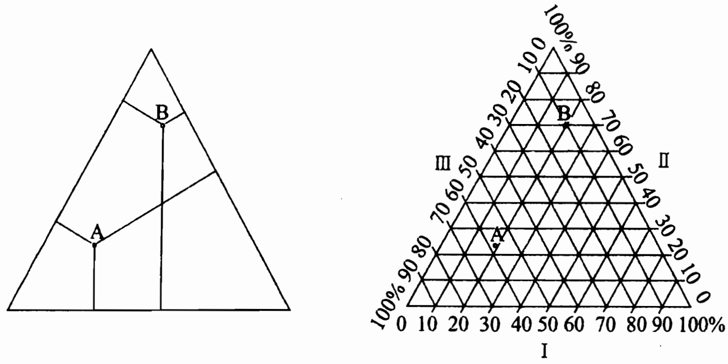


图 10.29　三角形图表的制作

A 点——Ⅰ=18%，Ⅱ=23%，Ⅲ=57%；

B 点——Ⅰ=19%，Ⅱ=72%，Ⅲ=9%。

这种方法对社会经济现象的结构和发展剖析较为深刻。与其他方法相比，这种方法较为直观。

（二）设计过程

为便于读者理解这种方法的内容实质，这里以日本的“居民职业构成图”为例（图 10.30）加以说明。在三角形图表中的“Ⅰ”代表农、林、牧、渔、狩猎业等第一产业；“Ⅱ”代表矿业、制造业、建筑业、加工业等第二产业；“Ⅲ”代表交通、通信、公益企业、服务业、行政职业和其他等第三产业。各行政单元三类产业就业人数总和为 1。

设计的过程如下：

第一步，各行政单元（市、镇、村）按其统计的三项不同指标值（各类就业人数的不同比例）用点表示于图表内。在图表内，每一个点代表了一个行政单元。本例中制图区域为日本全国，所以日本全国各行政单元都以相应的点的形式点入了三角形图表。

第二步，由于图表内点的分布是不均匀的，可按点子的分布情况对三角形图表进行分区（实质上是分类型）。一般地说，对图表中点子分布稠密的区域，分区可细一点（即分区小一点），点子分布稀疏的区域，分区可粗一点（分区大一点），目的是尽可能将点群（各行政单元）的特征差异显示得细致些。这种分区方法类似于分级统计地图的分级，性质相近的点（代表相应的政区单元）划为同一区（类），每个区内都包含有一定数目的点（政区单元）。图 10.30 是根据图 10.31 点群的分布状况进行分区的，共分 10 个区域，各区特征为：

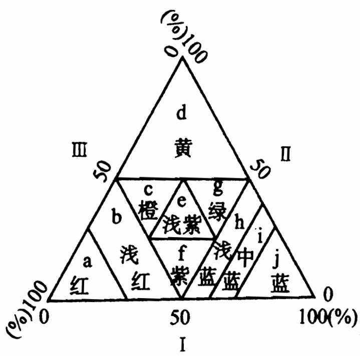


图 10.30　根据点位密度分区

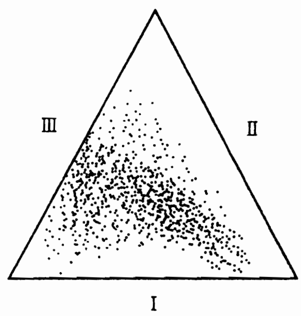


图 10.31　居民职业构成

a：Ⅲ≥70　（Ⅲ产业绝对多数型）

b：70>Ⅲ≥50　（Ⅲ产业多数型）

c：Ⅰ<25，Ⅱ、Ⅲ<50　（Ⅱ、Ⅲ产业同数，Ⅰ产业少数型）

d：Ⅱ≥50　（Ⅱ产业多数型）

e：50>Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ≥25　（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ产业同数型）

f：Ⅰ、Ⅲ<50，Ⅱ<25　（Ⅰ、Ⅲ产业同数，Ⅱ产业少数型）

g：Ⅰ、Ⅱ<50，Ⅲ<25　（Ⅰ、Ⅱ产业同数，Ⅲ产业少数型）

h：60>Ⅰ≥50　（Ⅰ产业多数，Ⅱ、Ⅲ产业少数型）

i：70>Ⅰ≥60　（Ⅰ产业多数型）

j：Ⅰ≥70　（Ⅰ产业绝对多数型）

如仍以上述的 A，B 点为例，则 A 点位于 b 区（Ⅲ＝55%，属Ⅲ产业多数型），B 点位于 d 区（Ⅱ＝72%，属Ⅱ产业多数型）。

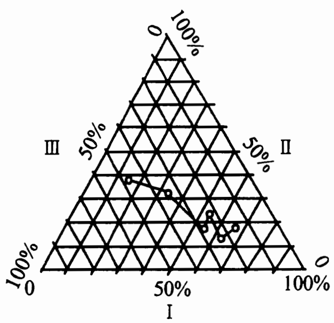
分区以后，就要着手对各分区进行设色。一般来说，三角形的 3 个角顶区可分别设以红、黄、蓝色，中间各区则视其与某角顶靠近的程度设接近于该角角顶主色的色调（见图 10.31）。

至此，三角形图表地图的设计已完成了两步工作：第一步，根据统计资料确定各单元在图表中的位置；第二步，根据点群分布情况，对图表进行分区并设以

颜色。第二步工作实际上是完成了这种地图的图例设计工作。

接下来，按各点（行政单元）在图表中的位置，以其所在分区的颜色（即第二步中设计的图例的颜色）填绘于该点所代表的行政区划范围中去，如上述的B区为浅红色，D区为黄色。实际作业时是将各点的三项指标值与图表中各分区的三项指标值相对照，从而确定某点（行政单元）应在什么分区，用什么色。因为在点群分布的三角形图表中，不可能对每点注出其名称。

这种方法对社会经济现象的结构和发展剖析较为深刻。这里仍以日本“居民职业构成图”为例进行说明。三角形图表（图例）中红、浅红的区域表示居民中从事服务性和公益性职业的人数较多，表现在地图中，这类区域越多，越说明社会结构中由于工业高度自动化，就业者由初级产业逐步转向第三产业；三角形图表（图例）中蓝、浅蓝的区域表示居民中从事农、林、牧、渔等初级产业的人数较多，地图中这类区域（行政单位）越多，说明社会结构中工业不太发达，第三产业职工人数也越少，而从事农牧业等的人口占大多数。



图中各点自右向左分别表示日本某市1920、1930、1940、1950、1960、1970年职业构成状况

图 10.32　三角形图表法研究社会发展趋向

在三角形图表中，如果将任一行政单元按其不同时期的三项指标值用不同的点位标注其中，从点位的移动即可看出社会发展的趋向（图10.32），可以编制分区统计图表地图；如果三角形图表表示各城市的指标，就成为符号法地图。与其他方法相比，这种方法较为直观。

三、其他统计图表符号

（一）线状图表

线状图表通常有两条成直角的坐标轴，即横坐标轴和纵坐标轴。它们分别表示两个变量，横轴多用于表示自变量如时间，纵轴多用于表示因变量即现象随时间变化的各种指标。线状图表可以分为简单线状图表、复合线状图表和结构线状图表。简单线状图表只有一个自变量和一个因变量；复合线状图表的一个自变量对应一个以上因变量，如图 10.33 所示，横轴表示时间（月份），纵轴表示温度。

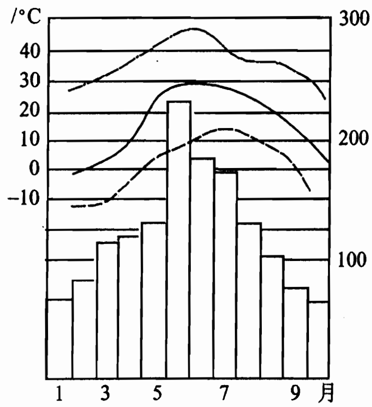


图 10.33　曲线-柱状图表

（二）放射线图表

放射线图表是指由一点向四周辐射的线束构成的图形。这种图表可利用的图形变量有中心、射线和射线方向角，如图 10.34 所示。

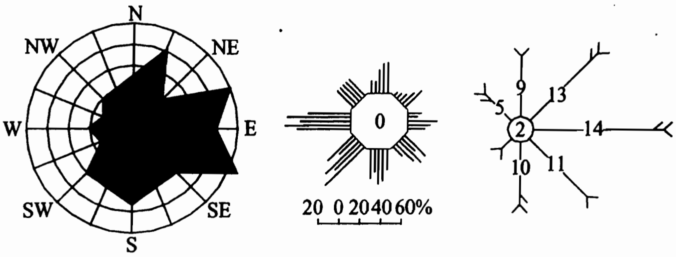


图 10.34　放射线图表

（三）圆形（扇形）图表

圆形（扇形）图表是由圆形（或扇形）及其部分分割组成的图形。圆的大小表示指标总的规模，内部分割表示各部分指标的比例。可以分为简单圆形图表、结构圆形图表和扇形图表。简单圆形图表只有一个尺寸变量，即圆的大小表示指标的总量，其实是分级圆。结构圆图表，除了尺寸表示总规模外，圆的分割可以反映现象内部的构成比例。扇形图表可以用来表示具有共性的不同品种各部分的数量特征，而不要求表示各品种的总和，如图 10.35 所示。

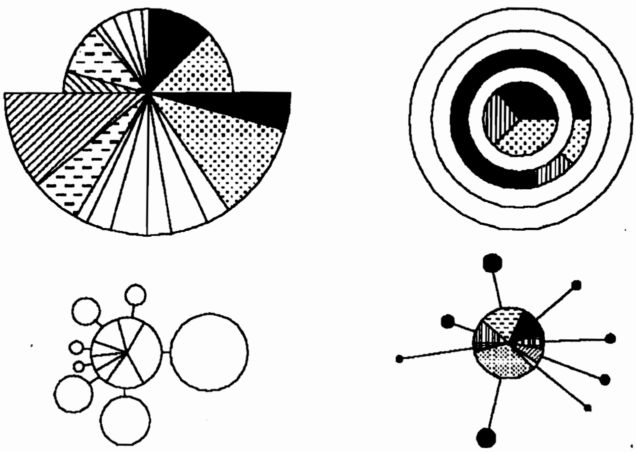


图 10.35　扇形图表

（四）等值图块图表

等值图块图表是便于进行现象数量比较的一种图表，它是一种图解方法的应

用。其图形有平面的和立体的，有四边形的和圆形的，有分块的也有结构的，但其基本构图却是共同的，即图块代表数值是固定的，这一点与“点值”完全一致。等值图块依具体形式可分为结构等值图块和立方体图块等，如图 10.36 所示。

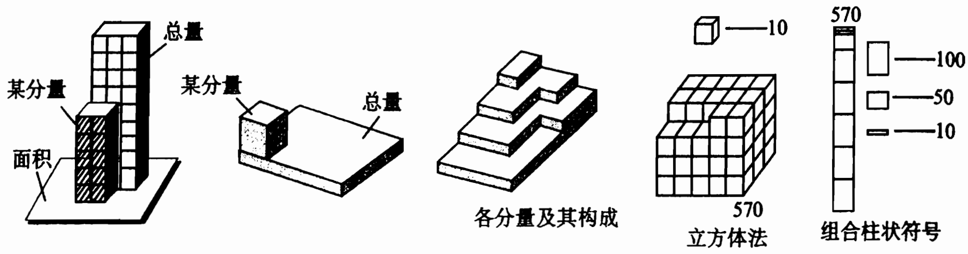


图 10.36　等值图块图表

上述统计图表不仅可以作为点状符号配置在图区内，为分区统计图表法应用。也可以放置在图外作为附表使用，说明区域对外联系或区域之间相互比较或区域与总体的联系以及区域本身情况等内容不便在区域内表示的情况。

第四节　专题要素各种表示方法的分析比较和综合运用

一、表示方法分类及选择

专题要素的九种表示方法是针对不同的时间、空间分布特征及数量、质量特征要求而产生的，表示方法间有着严格的区别，但在形式上某些表示方法间也有着十分相似的地方。只有认识了它们的实质，才能在专题制图时准确而恰当地使用它们。

（一）表示方法分类

1. 按对现象时间变化的表示分类

某一特定时刻——除动线法外都可采用；

现象的移动——动线法；

某一时间段内的变化——定点符号法、线状符号法的组合，等值线法、点值法、范围法的组合，分区统计图表法。

2. 按对现象数量和质量特征表示的可能性分类

以表示质量特征为主——线状符号法、质底法、范围法；

以表示数量特征为主——等值线法、点值法、等值区域法；

表示全能指标的——定点符号法、分区统计图表法、动线法。

3. 按符号类型分类

进行点状符号设计的——定点符号法、点值法、分区统计图表法；

进行线状符号设计的——线状符号法、动线法、等值线法；

进行面状符号设计的——质底法、范围法、等值区域法。

（二）表示方法选择

专题要素表示方法，是以各种类型的地图符号为基础的。然而，符号作为专题信息的载体，除了它们各自所含有的信息外，当它们以一定的集合形式表现在专题地图上时还可能包含着超过符号总量的潜在信息量，这在很大程度上取决于是否通过比较、试验后选用了最合适的表示方法。

表示方法的选择是专题地图可视化的重要环节，它是由多种因素决定的，这些因素主要有：表示现象的分布性质、专题要素表示的量化程度和数量特征、专题要素类型及其组合形式、地图用途、制图区域特点和地图比例尺等。表示方法选择的规则总结如表 10.1。

表 10.1　选择表示方法的一般规律

专题要素类型	专题要素表示等级	指标数量及组合	采用的表示方法
精确点状分布	定性表示、分类表示、分级表示	单一指标或多种指标组合	定点符号法、统计图表法
精确的线状分布	定性表示、分类表示	单一指标	线状符号法
模糊线状分布	定性表示、分类表示、分级表示	单一指标或多种指标组合	动线法
零星面状分布	定性表示、数值表示	单一指标或多种指标组合	范围法
断续面状分布	定性表示、数值表示	单一指标	范围法、点值法
连续面状分布	分类表示、数值表示	单一指标	质底法、等值线法
统计面分布	分级表示、数值表示	单一指标或多种指标组合	等值区域法、统计图表法

从表 10.1 可以看出，对表示方法的选择主要取决于制图现象的分布特点。但是由于制图现象的表示等级、指标的多少等，以及地图比例尺和用途的不同，可能有一种或几种表示方法可供选择。虽然表示方法可以互换，但在许多情况下，如果制图人员不能正确理解表示方法的实质，也会做出错误的选择。例如，对非连续分布的现象，采用等值线法是不合适的。如人口的分布属非连续分布，使用等值线方法进行插值计算的结果就会与人口实际分布情况不符。

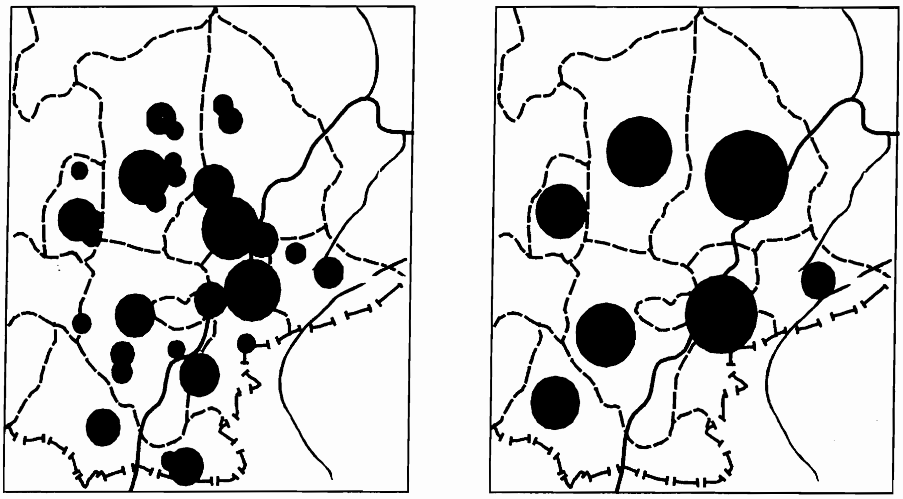
二、各种表示方法的分析比较和综合运用

有的专题要素表示方法从图形特点能一目了然地识别，如动线法，然而许多

表示方法之间存在着相似性，必须认真比较才能予以区分。为了针对不同的专题现象正确选择相应表示方法，尽可能准确地、全面地反映现象的特征，需要对有关表示方法的特点进行分析比较。

（一）定点符号法与分区统计图表法比较

分区统计图表的形状可以与定点符号法的形状，符号比率的计算可完全一样，但它们的内涵不一样。定点符号代表的是局限于该点上的数据，它必须严格定位在这个点上，有多少个点就有多少个符号，符号多时会相互重叠；分区统计图表表示的是所代表区域内数量的总值，正因为如此，一个区域单元内只可能有一个这样的图表，它没有严格的定位意义，只要放置于该区域范围内的合适位置即可。制图也只需要各区划单位的统计资料。如图 10.37 所示。



A.定点符号法　　B.分区统计图表法

图 10.37　定点符号法与分区统计图表法

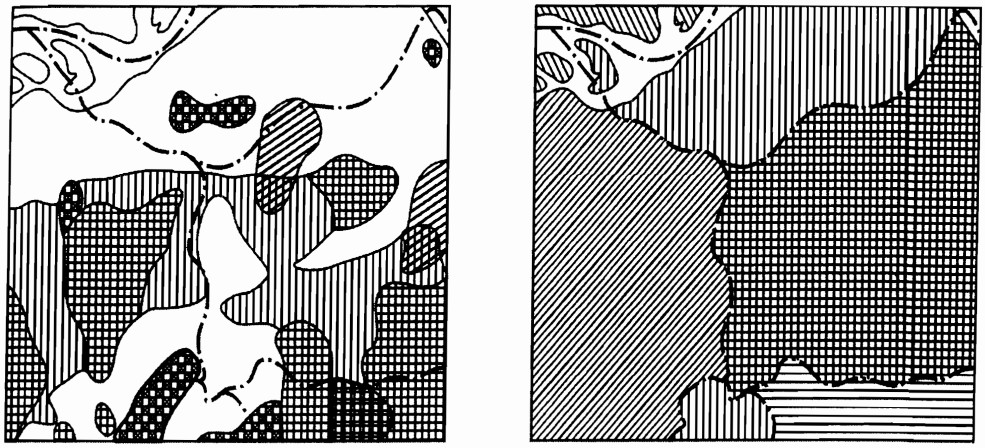
（二）线状符号法与动线法的比较

线状符号法与运动线法均可用线状的符号表示定位于线（或两点间）的专题现象，有些图上这两种方法形式上也颇为相似，但它们之间有本质的区别。其区别是：第一，线状符号法是表示实地呈线状分布的现象，反映静态的现象；运动线法则反映各种分布特征的现象的运动（或发展）状况，反映动态的现象。第二，线状符号法一般是反映现象的质量特征，如海岸类型、道路种类等等；运动线法则常用复杂的带表示现象的数量与质量特征。第三，线状符号的结构一般比较简单，定位比较精确；运动线法的结构有时很复杂，定位亦不够精确，有时仅表示两点的联系或概略的移动路线，在表示面状现象时，符号只表示运动的趋

向，并无定位意义。

（三）范围法与质底法的比较

范围法与质底法都是反映面状分布现象的方法，这两种方法都是在图斑范围内用颜色、网纹、符号等手段显示其质量特征。它们的差别是：质底法表示的是布满全区的面状分布现象，图面不可能有空白，图斑也不可能有交叉和重叠；范围法表示的是各自独立的间断成片分布现象，无这些现象的地方出现空白，现象有重叠分布的，图斑也就会产生重叠和交叉。因此，范围法能表示现象的渐进性和渗透性，而质底法一般不能表示现象的渐进性。如图 10.38 所示。



A.范围法　　B.质底法

图 10.38　范围法与质底法

（四）分区统计图表法与等值区域法的比较

分区统计图表法与等值区域法均是以统计资料为基础的表示方法。它们都能反映各区划单位之间的数量差别，但不能反映每个区划单位内部的具体差异。

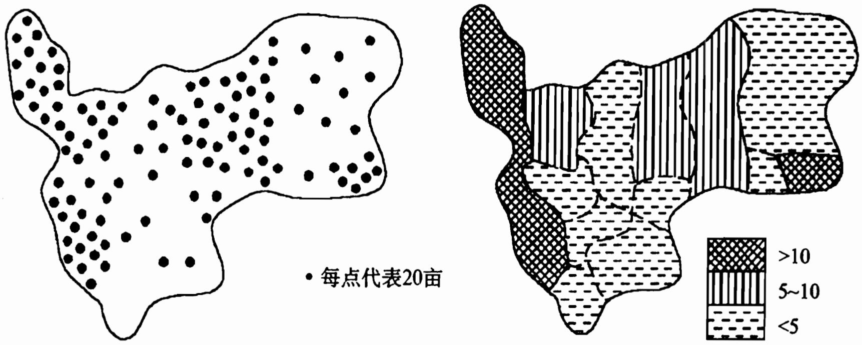
这两种方法主要的不同在于区域划分的概念方面。分区统计图表法的分区比较固定，如以某一级行政区域为划分依据；等值区域法则不然，它是以相对数量指标的分级为划分依据的（各级所包括的分区数目不一定同等且不固定），当分级改变后，各等级的范围也随之改变。

在制图上，经常把这两种方法配合使用，用等值区域图作为背景，在图上每一分区内描绘统计图表，而使它们的优缺点相互弥补。

（五）点值法与等值区域法的比较

点值法与等值区域法都可用来表示分散分布的现象的集中程度和发展水平，

如人口分布图或农业地图中专题现象的表示等。同时，用这两种方法编制专题地图时，统计的数量指标必须与所统计的单位区划相一致，当统计单位区划发生改变后，统计的数量指标也随之改变。但这两种方法各自有优缺点，针对不同的具体情况而分别选择使用之，如图 10.39 所示。



A.点值法　　B.等值区域法

图 10.39　点值法与等值区域法

等值区域法能简单而鲜明地反映地区间的差别，尤其是反映各区域经济现象的不同发展水平，能得到各地区简单的相对数量指标的概念。同时，能与符号法、分区统计图表法等配合使用。但是，这种方法不能反映各区域内部现象的真实分布情况。

点值法能较好地反映现象分布的地理特征，它能反映现象的绝对指标。但是，它仅能反映数量指标的相互比较，很难根据点子数来进行计算。因此，对于分布较均匀而疏密程度近似的现象，用点值法表示就不如等值区域法那样分区明确，易于获得数量指标概念。当现象分布的疏密程度差别太大时，点值法亦不适用，因为难于选择统一而合适的点值。

几种方法配合运用可充分发挥各种表示方法的优点，但必须以一种或两种表示方法为主，其他几种表示方法为辅，为了更好地运用表示方法，通常应遵循下列原则：①应采用恰当的表示方法和整饰方法，明显突出地反映地图主题内容；②表示方法的选择应与地图内容的概括程度相适应；③应充分利用点状、线状和面状符号的配合，如图 10.40 所示。

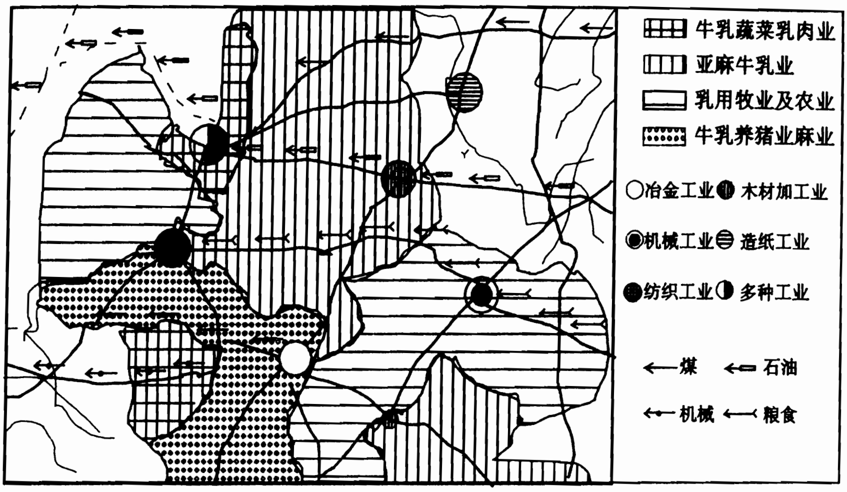


图 10.40　表示方法的综合的运用

第十一章　专用地图的特点及表示方法

专用地图属于专题地图，但它又不能简单地归类于自然地图或社会经济地图，它的针对性更强，目的更明确。例如专为盲人服务的盲人地图，服务于教学的各类教学用图，为导航服务的航空图和航海图等等，它的种类很多，以下主要介绍海图和航空图的特点及其内容的表示方法。

第一节　海图特点及其表示方法

一、海图的类型

海图以海洋为主要表示对象，包括海岸、海底地形、底质、与航行有关的要素及海洋水文、海洋化学、海洋生物等各项内容，是海洋科学研究成果的体现。海图为人们认识海洋、了解海洋提供了可视的资料，也为人们分析、评价海洋环境提供了可靠的依据。

海图主要用于研究海洋地理特点，为航行、捕捞、建港、海洋调查和科学研究提供服务。国际上，海图没有统一的分类标准。各国都是根据本国海图出版情况自行分类的。目前，我国海图的基本类型是按内容和用途标志划分的，如图11.1所示。

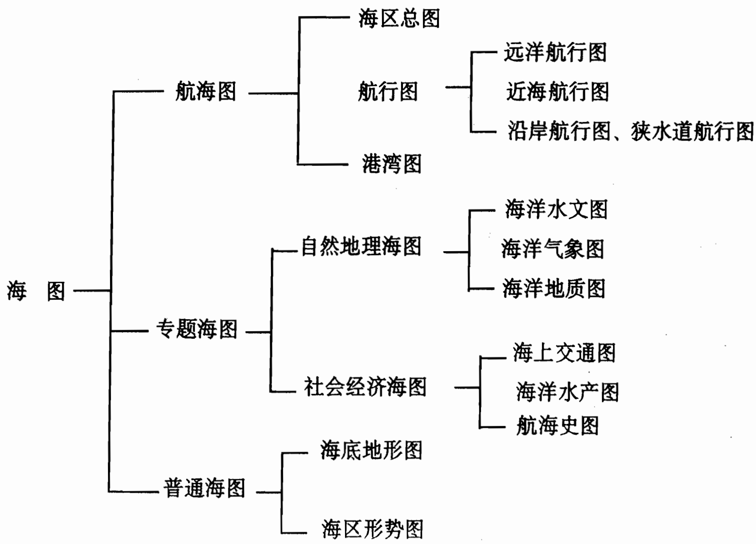


图11.1　我国海图的基本类型

(一) 航海图

它是供舰船航行使用的地图，是海图中最重要的一类，详细表示与航行有关的一切细节，确保航行安全。分为以下几种。

1. 港湾图

此种海图供舰船进出港口、海湾，及选择停泊场使用，也为港口规划、建设及海军的作战、训练提供服务。比例尺一般大于 1∶5 万。图上除显示港湾、锚地及出入口航道的航行条件外，还详细表示了港湾的各种设施及人文条件，如海岸、码头、沿岸建筑物、锚地、海底地形、各种航行标志。港湾图种类较多，如港口图、港区图、码头图、港池图、锚地图及水道图等。图 11.2 是港口图的表现形式。

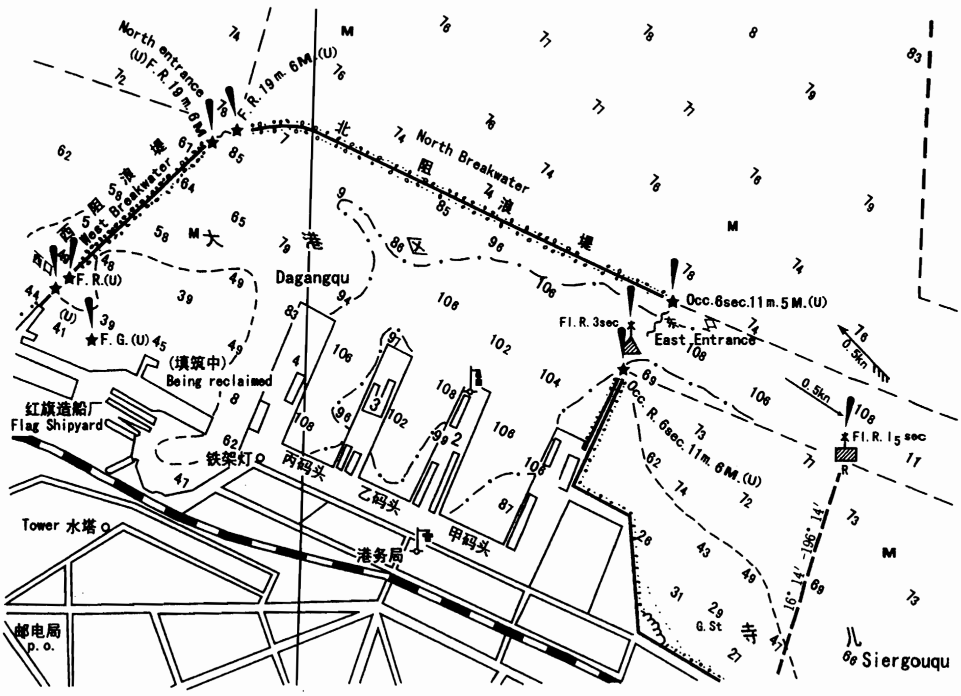


图 11.2　港口图 (1∶45000)

2. 海区总图

主要显示相对完整海区的小比例尺海图。比例尺一般小于 1∶100 万。多用于航海人员研究海区一般情况，制定航海计划，拟定计划航线使用，有时也可作为远洋或远海航行使用。海区总图比较概括地显示了广大海域的总貌，具有一览图特点。突出表示了海岸线、港口、海湾、岛屿和主要水道的分布关系，海底地貌主要特征，外海的主要助航标志和航行障碍物。

3. 航行图

供舰船海上航行、定位使用的海图。是航海需求量最大、类型较多的一种海图。比例尺一般为 1∶5 万～1∶300 万，以 1∶50 万、1∶75 万、1∶100 万为常用比例尺。按航行的不同海域又可分为远洋航行图、近海航行图、沿岸航行图及狭水道航行图。

远洋航行图，供舰船在远离大陆的大洋中航行使用。比例尺一般为 1∶100 万～1∶300 万，根据需要还可以小于 1∶300 万。图上主要表示大洋水深、特殊水深、岛屿、海流，以及各种地理名称。某些远洋航行图上还加绘双曲线格网，供远程无线电定位导航使用。这类海图又称为罗兰-C 海图和奥米加海图。

近海航行图，供舰船在大陆附近海域航行使用。比例尺一般为 1∶20 万～1∶100万。也可把这一海域使用的海图细分为近海航行图（1∶20 万～1∶50 万）和中、远海航行图（1∶50 万～1∶100 万）。该图充分显示了海区的航行水域和航道。详细地表示了外海的助航设备和航行障碍物及与航海有关的各种海区界线。图 11.3 是近海航行图形式。某些近海航行图还要加绘双曲线格网，供中程无线电定位导航使用，该类海图则称为罗兰-A 海图。

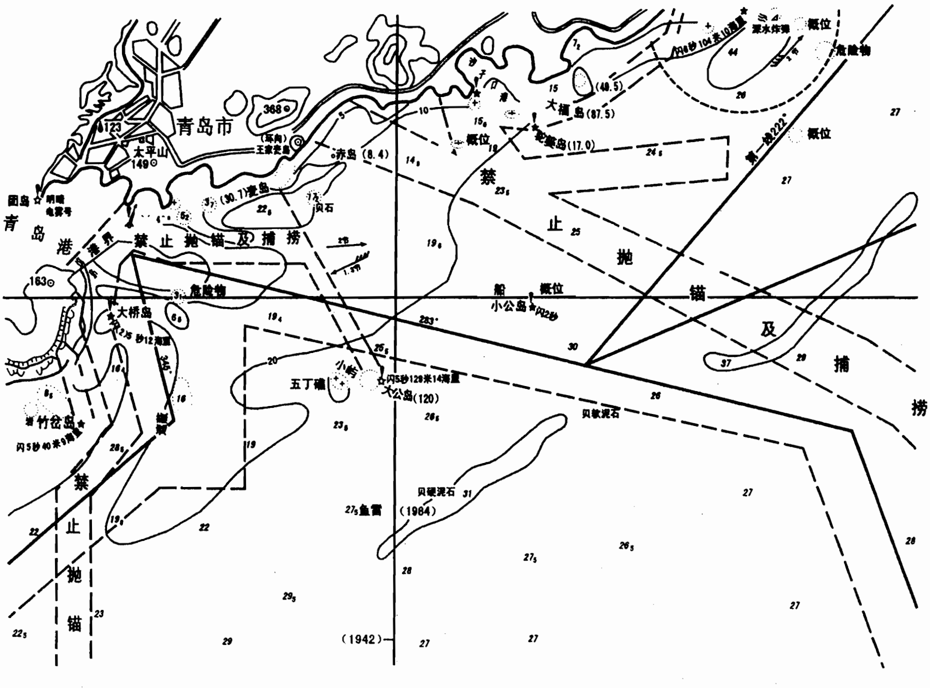


图 11.3　近海航行图（1∶25 万）

沿岸航行图，供舰船沿大陆或岛屿海岸附近海域航行使用。比例尺一般为 1∶10万～1∶20 万。该图详细显示沿岸海域海底地形、地物、各种助航设备、

障碍物及海区各种界线。同时也较详细表示海岸、干出滩和毗邻陆地的地形、地物及陆地具有导航意义的各种航海目标。某些沿岸航行图上要加绘双曲线格网，供近程无线电定位导航使用。加绘双曲线格网的海图也称台卡海图。

狭水道航行图，供舰船穿越狭窄航门、水道使用。比例尺一般大于1∶10万。图上详细表示水道的水深、各种障碍物、助航设备、陆地地形、地物及显著目标。有些狭水道航行图还可加绘位置线格网，如圆弧格网、距离格网，以便当舰船在狭水道或在被障碍物所局限的海域中航行时迅速而准确地标定船位。

（二）普通海图

普通海图是全面表示海洋空间各种自然现象和社会经济现象的海图。具有广泛的用途，可供海洋科学研究、海洋开发和政府及军事部门参考使用。主要包括海底地形图、海区形势图及其他小比例尺海洋地理图。

1. 海底地形图

海底地形图是反映海底起伏形态的海图。图上详细表示海底地貌、海底固定地物、水文要素及沿海陆地地形等。其中海底地貌主要用等深线表示。海底地形图主要用于海区的地理研究，海底资源勘探，海底工程建设，铺设海底电缆、管道，海洋资源的开发利用。在军事上主要为军事工程，水中兵器的使用，以及登陆抗登陆作战、训练使用。

2. 海区形势图

海区形势图是表示某海区、大洋或世界海洋形势的海图。一般比例尺比较小，多以图组和挂图形式出版。图上海域部分用水深注记、等深线加分层设色显示海底地貌，详细注记沿海主要港口、岛屿、海峡的名称，并绘有各主要港口之间的里程线。陆地部分一般用等高线加分层设色来显示陆地地貌，较详细地表示水系、居民地及交通网。有些海区形势图还表示了国际时区线以及与地方时互换的图表等。海区形势图主要供军事指挥机关研究海区形势、海区地理特点，指挥作战、训练时使用，也供国家、政府机关部门参考使用。海区形势图按其范围可分为世界形势图或世界全图、某大洋形势图、某海形势图或海峡形势图等。

（三）专题海图

专题海图是突出而较完备地表示海洋领域一种或几种自然及社会经济现象的海图，其类型较多。如果从其用途出发，专题海图可包括海洋研究专题图、海洋工程专题图、海洋开发专题图、海洋军事专题图等图种。比较典型的海洋专题图有：海洋水文图、海洋气象图、海洋生物图、海洋地质图、海洋资源与环境图等。

海洋水文图包括海水温度、盐度、密度图，海流图，海浪图，水色透明度图

等。图上主要显示这些水文要素的水平分布和垂直分布数字特征。多是海洋调查和海洋观测成果资料的反映。该图可供有关部门广泛参考使用。

海洋气象图主要表示海洋上空大气层中各种物理现象的范围、结构、成分、密度、发展及其相互联系并揭示其性质。主要有风图、气温图、气压图、云图、日照图、降水图、气候区域图等。海洋气象图所表示的内容多是长年测站观测的统计资料。通常是各种现象数量特征和质量特征在一定的轮廓范围内的完整概念。

海洋生物图是显示海洋中的浮游生物、底栖生物、微生物和自游生物的生活状况、栖息分布、相互关系及与这些生物相关的海洋环境的海图。诸如有关海洋生物的分类单位或生物群落的非数量和数量的区域分布和垂直分布图，鱼类洄游路线图等。

海洋地质图是海洋地质调查和海洋物探的成果反映。海洋地质图主要表示海洋地质构造及其演化，各地质年代沉积物的分布，海底岩石、沉积物的物理性质。包括海洋地质图、第四纪沉积物图、海洋地质构造图等。

海洋资源与环境图是表示海底矿产资源、海洋生物资源、海岸带及滩涂资源分布和海洋地理环境的海图，如海岸带和滩涂资源综合调查图主要表示沿海资源的分布特点、分布规律等。

海洋军事专题图是指供海军指挥机关和舰艇海上军事活动使用的各种军事用图。包括各种军事标图、海区军事形势图、各类舰艇专用图、登陆与抗登陆作战用图、封锁海峡作战用图，以及各种情报侦察图、军事训练区图、军事辖区图等。

二、海图的特点

（一）海图比例尺

由于海图的用途广泛，制图区域范围有大有小，因而海图的比例尺种类较多，包括大、中、小比例尺。影响海图比例尺的因素很多，如海图的用途、种类、制图区域范围、幅面大小等。如航海图的基本用途是为舰船定位、导航使用，而且根据多年的航海经验确立了不同类型航海图的比例尺区间。具体如表11.1所示。航海人员将根据不同航海活动区域，选择不同比例尺的航海图。

表11.1　不同类型航海图的比例尺

航海活动区域	航海图种类	比例尺区间
港湾，狭水道	海湾图	大于1∶5万
沿　岸	航行图，部分海区总图	1∶5万～1∶20万
近　海	航行图，部分海区总图	1∶20万～1∶100万
远　洋	航行图，部分海区总图	小于1∶100万

另外，海图比例尺不强求系列化。世界各国的航海图都没有形成固定的比例尺系列，而且各国的航海图比例尺也都不统一，这是因为各港口海域大小差异很大，航海图的图幅设计主要从保证航海用途出发，如保持航线完整，航道具有充分的水域等。另外，比例尺不成系列并不影响航海人员在海图上的量算。

（二）海图投影

为了航行方便，海图通常都采用墨卡托投影，它的最大特点是保持等角航线成直线。

两极地区采用方位投影。小比例尺海洋地理图多采用球心投影，为的是将大圆航线投影成直线。

港湾图则与陆地地形图一致，采用高斯-克吕格投影或等角圆锥投影。

普通海图和专题海图的特点和用途决定其投影选择的广泛性和复杂性。从投影性质考虑，包括等角投影、等面积投影和任意投影。对于一些既不要求等角也不要求等面积，一般用于科学参考使用的海图，如小比例尺洋区图可选择任意投影，主要有彭纳投影、等距离方位投影等。

（三）分幅编号

海图采用矩形分幅。分为两种情况：对于大范围区域性海图，采用墨卡托投影，经纬线分幅，由于投影后的经线和纬线都是正交的，所以图幅也是矩形的；对于条带状的区域，如沿岸海图，则采用自由的矩形分幅。

海图编号自成系统，采用组合式编号方法。例如 15-10XX，前两位代表比例尺，15 即为 1∶15 万，连接号后两位为海区归属国家（或地区）的代号，中国海区为 10，最后两位为图幅的自然序数代号，按不同区域自成系统。

（四）海图的编制特点

海图的编制方法同地形图没有什么本质的区别，地形图编制的技术方法均可用于海图的编制，要特别注意的是：

1. 海图的制图资料比较复杂

其陆地部分以地形图为准，海洋部分则有测深资料、水文资料、航海资料和遥感资料等。等深线是根据水深点参考其他资料在室内绘制的，它和等高线的绘制和概括方法均有较大的差别。

2. 海图应不断地进行修正

修正分为小改正、大改正和改版三种。根据“航海通告”直接在使用的地图上改正，如新发现的浅滩、暗礁，新的沉船和水工建筑，航标变动等，称为小改正；如改正过多，需补版重印，称为大改正；变化过大，需重编后再版。

三、海图的内容要素

(一) 自然地理要素

1. 海岸

海图上所表示的海岸是海洋的陆地部分。是指由海岸线向陆地延伸到地形有较大转变的狭长陆地地带，其宽度不等。海岸包括海岸线和海岸的组成性质——海岸性质。而海岸线是指平均大潮高潮时的水陆分界的痕迹线。

在海岸研究领域中，也把海岸扩展到潮浸地带（干出滩）和水下岸坡（沿海地带）。从而把海洋与陆地的接壤地带称为海岸带。这一地带海流、波浪和潮汐作用较强，是各种自然现象变化迅速的地带，也是人们活动频繁的区域。因此，海岸带区域地形复杂多变，各种类型的大比例尺海图均都详细表示该区域，包括海岸带的海底地形、海底地质、地貌、沉积物、生物、气象条件和海洋环境污染，以及海岸带资源开发的综合自然条件等。海岸带图主要是描绘这一区域的海图。

2. 海底

海图所表示的海底内容主要包括海底地形、地貌，海洋地质及地球物理现象等。

(1) 海底地形、地貌

主要表示地球表面海水覆盖部分的起伏形态，地貌类型及成因等。一般分为大陆架、大陆坡及大洋底三个领域。

大陆架海底：指围绕大陆和大岛边缘的浅水海区，是大陆自然延伸的一部分。深度一般不超过 200m，宽度不一，坡度平缓，但地势起伏复杂，海底的礁石、浅滩、水下沙洲、溺谷、海底阶地及陡坡等均集中在这一海域。

大陆坡海底：是大陆架向大洋海底的过渡地带。平均宽度 70 km 左右，深度在 200～500m 之间，最大坡度可达 20°以上。在大陆坡麓上横切着许多很深的海底峡谷。

大洋底：是海底的主体部分。一般指海洋水深超过 2500m 的区域。在大洋底，许多纵横的海岭绵延交错，将海底分为一连串的海盆。最常见的海底地貌有海沟、海槽和海盆等负向地貌及海脊、海隆、海底山脉、海底高原等正向地貌。

(2) 海洋地质

主要表示地球表面被海水覆盖部分的海底在时间上的发生发展，在空间上分布变化规律的内容。从地质学科角度研究，海洋地质包括海岸、海底地貌、海洋沉积及海洋地质构造等内容。海图上对海洋地质方面的表示，主要是按地质年代区分海底的各种基岩及岩性和岩相，反映海底地壳沉积层的层理序列，包括第四纪沉积物、海底地质构造及海底矿产分布等。

(3) 海洋地球物理现象

地球物理现象是指地球整体及其组成部分（大气圈、水圈、岩石圈及其以下各部分）的性质、状态、结构和其中所发生的各种物理过程的现象。海图上所表示的海洋地球物理现象主要是海洋重力、海洋磁力（海洋地磁偏角、磁力异常）的变化及海底火山、地震的分布等。

3. 海洋水体

海图对海洋水体的表示主要有海水的物理性质、化学性质及海水的运动规律。

海水的物理性质——海水的温度、盐度、密度、海水的氯度、溶解氧、透明度、水色及海水发光等。

海水的化学性质——海水的化学元素组成、海水的酸度、碱度及海水污染等。

海水的运动规律——海流、潮汐和波浪。

海图上对这些性质规律的表示多是海洋水文的各种随机现象，它是在海洋调查和海滨多年观测的基础上，经统计分析，显示其各种随机现象的分布规律和数值特征，如各种现象的均值、方差、极值及趋势等。

4. 海洋生物

海洋生物主要包括海洋浮游生物、底栖生物、微生物及游泳生物（自游生物）。海图上表示的海洋生物不仅包括生物本身，更主要的是表示其生活状况、栖息分布、洄游路线、相互关系以及海洋环境对海洋生物生存和繁殖的影响。其具体内容大致分为：海洋生物的分类单位（物种或高级种群）或生物群落的分布；某些海洋生物的数量分布；海洋生物调查站或调查区域索引等。

5. 海洋气象

海洋气象主要是指表示发生在海洋上空的各种天气现象及海上空间的相互作用。重点是海面以上 8～18km 的对流层的各种气象要素，包括气温、气压、湿度、风、云、能见度、降水、海雾及海冰等。

6. 陆地地貌及水系

海图根据不同的用途有选择地表示各种陆地地貌和水系。地貌包括高山、丘陵、平原和凹地，尤其注重对沿岸各种具有导航意义的山头、岩峰、陡石山等的表示。水系主要表示河流、运河、沟渠、湖泊、水库、盐田和沼泽地。对具有通航价值的江河则专门制作江河航行图。

(二) 社会经济要素

1. 居民地

海图较详细表示沿岸居民地的分布、类型、行政等级。突出表示沿岸居民地内较高大建筑物及特殊具有航行方位意义的建筑物位置、形状、特征。对沿岸的港口，通常是专门编制港口图。

2. 交通网

海图上对交通网的表示主要包括海上交通、内河交通、陆地交通和空中航线。

海上交通主要是海上各种航线、航道，各种助航设备及人为的航行障碍物等。内河交通主要是江河的主航道、江河助航标志、沿岸港口等。陆上交通主要是铁路、公路及其各种附属设备。空中交通主要包括空中航线、航空港、机场跑道、各种航空标志、航空无线电指向标等。

3. 境界及管线

海图上表示各种政区界线和其他界线。政区界线包括国界、省界、海疆界、领海线、毗连区界线、专属经济区界线等。其他界线包括海关界线、港界线、禁区界线、锚地界线、海上各种限制区界线、海上军事训练区界线等。各种管线包括电力线、架空线、海底电缆、输油（气）管线等。

四、海图内容的表示特点

海图上的各种地理内容是通过符号、色彩和注记表示的。它们不但对海图的科学性起重要作用，而且可以增强科学美，并给读图者以强烈的感染力。

（一）海图符号的设计特点

海图符号也分为点状符号、线状符号和面状符号，分别表示点状、线状和面状要素的特征。

海图以点状符号表示海洋的各种天然的和人工的地物，如航行障碍物、各种助航标志、陆地上的各种地物等。这些点状符号不但以其几何图形和象形图形或一些侧视图形表示各种地物现象的性质、特征，而且更着重于其实地位置和相互关系的表示。海图上的点状符号以其精确位置、概略位置，甚至于以轮廓范围等形式详细区分各种现象的位置关系，以适应舰船海上活动的需要。例如，我国国标《海图图式》中“符号的位置的举例”说明了这一点（图 11.4）。

5.3	符号的位置举例	
5.3.1		面状符号
5.3.2		形象符号
5.3.3	⊙　△　★	有一点的符号
5.3.4	↮ 概位　○ 概位	概位符号

图 11.4　海图符号位置举例

线状符号所代表的概念是位于空间的线。其符号依某个方向延伸且长度随海图比例尺的变化而变化。例如海图上的海岸线、航线、等深线，以及海域的各种电缆线、输油管道线、浮冰界线等均是典型的线状符号所表示的海洋要素（图11.5）。

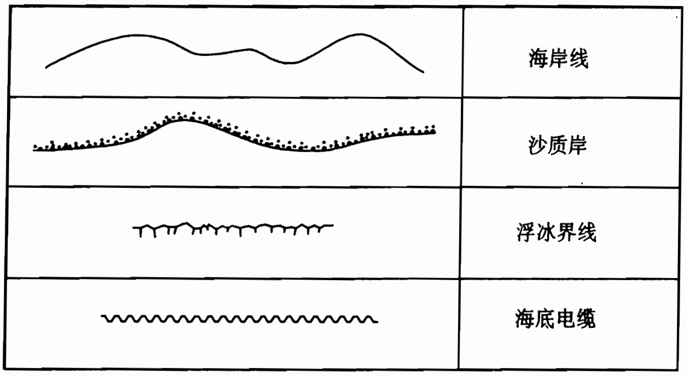


图 11.5　海图上线状符号

面状符号指在抽象意义上可认为是定位于几何上面的概念。其符号所代表或所指的范围与比例尺有关。面状符号的范围包括具有明确界线（精确的或不精确的）、没有明确界线和界线模糊等几种情况。图 11.6 是海图上具有明确界线的面状符号。

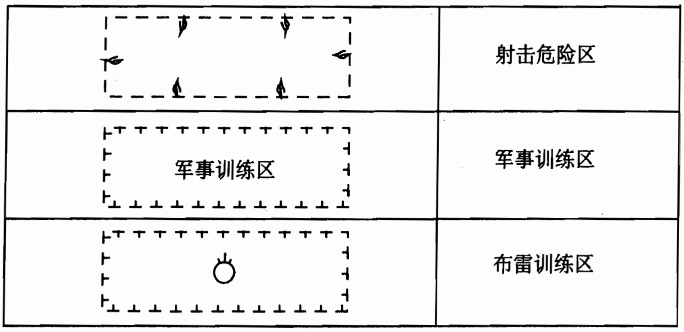


图 11.6　海图上面状符号

（二）海图的注记

海图以其文字注记表示各种地名及图上各种说明注记；以其数字注记表示水深、高程，各种地物的大小、宽度、高度及方向等。各种注记表示的原则是指示明确、易于辨别、清晰易读。为了更好地达到这个原则要求，海图上的注记将系统地运用各种字体及字体的形状、大小、方向和色彩，并采用不同的注记形式和位置，以达到完美的表示效果。

1. 海图上的字体

海图主要应用等线体、宋体及这两种字体的变形体。根据所指示的要素或物体的大小、长短采用不同字体的大小和字体间隔。有时还要根据注记的地物重要程度和所占据的空间位置来规定字体大小。如居民地中的“首都”应庄重、显著，以等线体表示；海洋、水道等名称采用斜体字表示；山脉连绵、高耸，采用耸肩字表示等等。

2. 海图上数字注记

海图以数字表示水深、干出高度、高程，及各种其他地物高度、宽度等数量特征。其中，水深注记的表示是采用直体和斜体两种形式区分不同的测量资料或测深的新旧程度，以“拖尾”小号字体表示小数。同时，以其他形式（数字加符号）表示不同类型的深度、高度。如未测到底的水深，沉船或障碍物上的扫海深度的表示等。图 11.7 是海图上不同数字所表示的要素和物体的一部分。

15_8　15_8	斜体水深，直体水深及拖尾小数
198	未测到底水深
[illegible]　O(2_1)　(4_8)	干出礁干出数字
8_4 (1983)	扫海深度
+ (4_6)　⊕(4_8)　3_4 岩　⊕(13_1)	已知深度的暗礁
26 船　22 船	已知深度的沉船，扫海沉船
17 碍　12 碍	障碍物，扫测的障碍物

图 11.7　海图上数字注记的表示

3. 注记的定位

某些数字注记自身即具有定位的意义。例如海图上的水深注记，其数字中心

（也称水深主点位置）代表着实测水深的位置。图 11.8 是我国海图上水深注记的主点位置。另外，对于海图上的底质注记，如“沙”、“泥”等则以字体的中心代表实测底质采样时的位置。

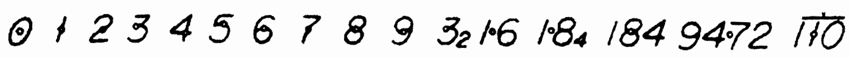


图 11.8　我国海图上水深注记的主点位置

注记的指示作用，通常和各种点状要素、线状要素、面状要素发生联系。其总的原则要求如下。

（1）海域、陆地的注记应分别注于相应的海域内和陆地上

例如港口名称不注记在陆地上，居民地名称不注在海域内。某些要素或物体如岛屿名称将根据其面积大小，视情况注记在陆地上或海域内。

（2）点状地物（或小面积面状地物）采用“六方位注记法”

所谓六方位注记是指左右两个方位的水平字列和 4 个象限的弧形字列（图 11.9）。

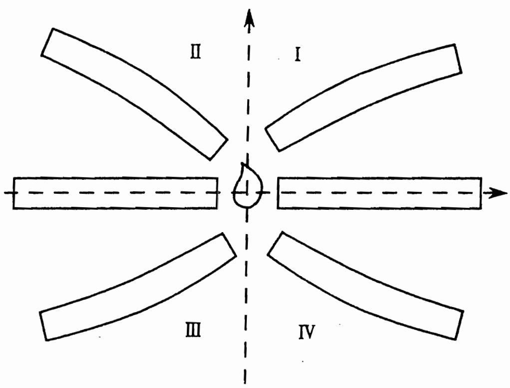


图 11.9　六方位注记法

（3）线状要素或物体的注记

一般应沿所指示的线状要素或物体的方向平行注记。根据表示的效果和图式要求，采用雁行字列、屈曲字列或斜向字列。其中字的间隔距离要保持相等，整体位置要合理、正确，即一组完整的注记应与所指示的对象相对应。

（4）面状要素及地物的范围注记

通常应注在区域范围之内，只是图上面积过小注记不下时才注记在范围之外。对范围界线明确的要素，如各种禁区界线，其注记容易配置；而区域界线不明确或界线模糊的要素其注记就不易配置。对后者，其整体注记要确切指明所注记的对象范围和位置。

4. 海图上缩略语注记

海图上的缩略语注记应用较多的要素是底质注记、助航设备注记，以及某些说明注记，目的在于减少海图上的注记比重。部分注记采用罗马字母。表 11.2 是海图上常用的几类缩略语注记。

表 11.2　海图上的缩略语及全义举例

缩略语	全　义	缩略语	全　义
概 位	位置不精确	N，E，S，W	北、东、南、西
疑　位	位置有疑问	快	连续快闪光
疑　存	存在有疑问	莫	莫尔斯灯光
疑　深	深度可疑	碍	障碍物
碎	破碎的	船	沉船

（三）海底地貌的表示方法

海底地貌是海图尤其是航海图最重要的地理要素，不同种类的海图和不同用途要求的海图，其表示方法也不相同。目前，主要的表示方法有：数字注记法、等深线法、分层设色法、晕渲法、明暗等值线法等。其中，数字注记法和等深线法是最基本的表示方法。其他几种方法则是辅助表示方法，或适用于某种海洋专题图的表示方法。

1. *数字注记法*

数字注记法是航海图表示海底地貌最基本的表示方法。每个数字代表该数字位置上的海底深度。表示海底深度的数字也称“水深注记”或“水深数字”。水深数字及其位置都是海上实际测深和定位的成果。因此，数字的大小和主点位置反映了海底地形的起伏变化。

航海图上以水深数字表示海底地貌，可直观地显示海底地形起伏变化，特别是航海人员对海底情况可一目了然。长期以来，制图人员如何利用测深数据正确地表示海底地貌，主要是致力于水深数字疏密程度的研究。实践证明，并不是水深注记越密越好。科学地掌握水深注记密度既可以更好地显示海底地貌，又可以满足航海人员对海图清晰易读性的要求。不同海域或不同深度带的海底地貌复杂程度不同，其水深注记的密度也不相同。海底地貌越复杂，水深注记密度应越大；反之亦然。我国现行国标《航海图编绘规范》对不同水深层的密度间隔作如下规定：

浅于 20m 的水域为 1.0～1.5cm；

20～50m 的水域为 1.2～2.0cm；

深于 50m 的海域为 1.8～3.0cm。

对沿岸陡深处水深注记可以适当加密，平坦水域可以适当减稀。对于水道、航门、复杂的岛礁区、航道转向处、锚泊地，以及突出的岬角处水深注记的间距可缩小至 0.8～1.0cm。

2. *等深线法*

表示海底深度的等值线被称为等深线。等深线法是海底地形图上表示海底地

貌的主要方法，也是航海图及其他普通海图的辅助表示方法。当海图主要以等深线表示海底地貌时，海图设计人员主要是确定等深线的间距；当海图是以等深线作为辅助表示方法时，则主要是根据用途要求选择固定的等深线。

用等深线表示海底地貌的关键是确定等深线的间距，其次是等深线的勾绘问题。到目前为止，等深线间距的确定还没有固定的规律可循。一般是根据海图用途要求、海图比例尺及海底地貌特点来确定对变距等深线、等距等深线和固定等深线的采用。

等距等深线其优点是使用时可根据等深线图解获取海底地貌的数量特征，特别是量取相应的坡度比较方便。等距等深线常常在大中比例尺海底地形图上采用。固定等深线是指不同比例尺海图的基本等深线固定，通常航海图多采用此种表示方法。

3. 分层设色法

对于航海图和海区形势图，其分层设色有不同的做法。

航海图上海底地貌的分层设色属于局部套印色层。通常是在干出线（0m 等深线）以下的浅水海域进行分层设色。采用蓝色色相两个色调分层。如果是从海岸线算起，则包括干出滩（海岸线至 0m 等深线）的分层，采用蓝色色相和黄色色相的叠加色调。

航海图采用局部分层设色的目的有两个：一是使浅海水域在图上醒目清晰，易于航海人员辨别，有利于保证航行安全；二是保持海图上的大部分海域面积不设色，有利于航海人员在海图上标绘航迹。为更好地达到这两个目的，色层深度要随海图比例尺的不同而变化。根据浅海水域海底地形特点和长期的海图制图经验，目前不同比例尺航海图的色层深度已经基本固定。变距等深线一般用于中小比例尺海图上，由于描写的海洋范围大，海洋深度变化大，适应采用变距等深线。

海区形势图一般都采用布满全图的分层设色。海底地貌的分层设色明显不同于航海图，它是以蓝色色相设色，采用“愈深愈暗”的原则分层，并且不同比例尺海图，色层级数也不相同。其中，大中比例尺海区形势图一般色层级数偏少；小比例尺海区形势图色层级数较多。但总的要求是以有利于显示海底地貌的宏观特征为基本前提。

4. 海底地貌晕渲法

晕渲法表示海底地貌要比表示陆地地貌困难得多，这主要是因为海底不可见和缺少直观感觉，而且海底测量远不及陆地测量详细。根据晕渲法表示地貌的特点，海底地貌晕渲多用于小比例尺海图，特别是用于表示宏观海底地貌，如海底大陆架、大陆坡及大洋底三大地貌单元。利用地貌晕渲法表示海洋宏观地貌的成功作品是 1969 年美国出版的太平洋、大西洋和印度洋海底地貌图。该图用透视

的彩色晕渲法直观、形象地展现了三大洋的海底地貌形态，说明用晕渲法表示海底地貌具有明显的特色。我国近些年所出版的小型海图集也对某些制图区域的海底地貌采用晕渲法表示，如台湾海峡海底地势图、日本琉球群岛海底地势图等。

5. 海底地貌表示法的选择与综合运用

分析和总结海图上对海底地貌的表示可以发现，海图很少应用一种方法表示海底地貌，而多数海图是综合运用几种方法表示海底地貌。事实上，制图人员在长期的制图实践中，对现有的各类海图已形成了稳定的表示方法。例如航海图，为了满足航海人员对海底地貌清晰易读和便于海底深度的直观显示的要求，一直是采用水深数字表示海底地貌。但是，为了使海图上不同的深度层次能够一目了然，突出表示海底浅水区域，以及方便航海人员对航道的选择，在水深数字表示的基础上又采用了等深线法和分层设色法。又如海区形势图，主要是从宏观上显示海底地貌的基本特征和海底地貌分布规律，所以选择了以分层设色为主的表示方法并辅以水深注记和等深线。近些年来，海区形势图也选择了晕渲法或明暗等深线法表示海底地貌，它不仅能够满足用途要求，而且增加了海图的艺术性。所以，综合运用海底地貌表示方法对满足海图用途要求是非常重要的。

（四）海洋水文要素的表示方法

海图上所有海洋水文要素可概括为两种量：一种是标量；一种是矢量。前者是指海水温度、盐度、密度等一些无方向的量；后者通常是指海流、潮流等有方向的量。因此海图对水文要素的表示可以分为标量表示方式和矢量表示方式两类。

1. 标量表示

任何海洋水文要素标量都可使用由空间坐标（x，y，z）和时间坐标（t）组成的四维空间坐标来确定。一般情况下，标量（P）是随着空间位置和时间的变化而变化的。我们可以把这 5 个变量用一个一般的公式加以表达，即

$$P = P(x, y, z, t) \tag{11-1}$$

该式能供我们通过空间和时间的不同维数的变化来找到所有可能表示海洋水文要素标量的情况。

1）零维变化。如果 P 值是在空间上一定点和某一时间测定的，那么所有维数都是常量，则有

$$P = (c, c, c, c) \tag{11-2}$$

这只是一个数值。如，在北纬 17°32′，西经 67°00′，1991 年 6 月 8 日 16 时的海水表层温度是 27.77°。

2）一维变化。为使 P 值变化，至少有一维必须变化。例如测站上海水温度

随时间的变化，即

$$P = P(c,c,c,t) \tag{11-3}$$

或者某一平面点位置上，同一时间的不同深度海水温度的变化，即

$$P = P(c,c,z,c) \tag{11-4}$$

类似的例子还可以举出很多。

3）二维变化。二维变化最通常的表现形式是海图和断面图，归纳起来有 6 种：

①$P=P$（x，y，c，c），其表现形式为海图；②$P=P$（x，c，z，c），其表现形式为剖面图；③$P=P$（c，y，z，c），其表现形式为剖面图；④$P=P$（x，c，c，t），其表现形式为动态图；⑤$P=P$（c，y，c，t），其表现形式为动态图；⑥$P=P$（c，c，z，t），其表现形式为动态剖面图。

地图是二维变化的最经常使用的方式。而对于剖面图来说，无论是 x，y 变化，还是 t 变化，其实质都是一样的。但坐标轴的定义通常是循着人们的习惯表示，即深度变量轴是向下的。图 11.10 是一幅沿红海某一轴线上海水表层温度随纬度和时间（1～12 月）的连续变化的动态图。

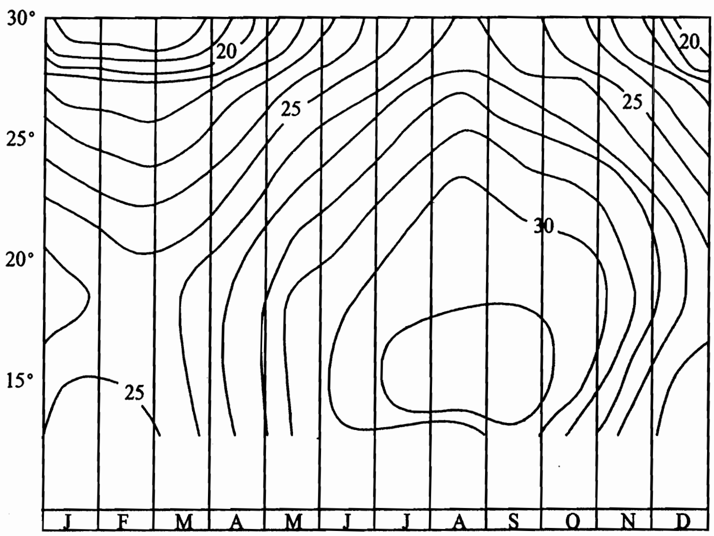


图 11.10　动态图

2. 矢量表示

以矢量表示的海洋水文要素，主要是海流、潮流、波浪等。在航海图上，各种潮流及海流通常是以箭矢符号表示其方向和大小。在专题海图上，更详细地表示了海流、潮流及波浪的统计量，如均值、极值和频率等。如果我们需要全面表示这些指标及分布，就有必要把制图区域作为一个矢量场来研究。该矢量场是由

具有流的方向和流速大小的模（M）的矢量组成。其方向是以水平角（θ）和垂直角（φ）唯一确定的。对于矢量场，我们可用下式表述：

$$\nu=(M,\theta,\varphi)(x,y,z,t) \tag{11-5}$$

其中，模的大小和方向可以用笛卡儿坐标系定义，而矢量在空间上的位置可以球面坐标或柱面坐标定义。这样就可以有各种不同的模式。

最简单的模式，即一个固定位置的海流矢量，通常以箭矢符号表示。箭矢方向代表流向，箭矢的长度可与流速的大小成比例或在等长的箭矢符号上用数字标示流速的大小。航海图上多用箭矢符号表示涨、落潮流或海流和洋流等（图 11.11）。另外，还有定点海流随时间变化的模式，即测站上海流的时间序列的变化。对于时间序列上的流速、流向的表示都是将所观测的历年数据进行统计分析，并根据不同需要确定表示不同的统计量，通常多采用玫瑰图的形式表示，如流速玫瑰图、流向频率玫瑰图等。



(a) 涨、落潮流　　(b) 海流　　(c) 洋流

图 11.11　航海图上流的表示

（五）海图上位置线格网的表示方法

为满足电子导航或其他快速定位需要，海图上要表示各种位置线，包括双曲线格网、圆弧格网、方位线格网、距离线格网及九九方格网等。

1. **双曲线格网**

双曲线格网是为无线电双曲线导航定位使用而绘制的。无线电导航系统是一种利用电子设备测定岸上专用的导航台的距离差定位系统。通常按其作用距离、发射电波的不同分为不同类型。为不同类型导航系统所配套绘制的双曲线格网海图，主要有奥米加海图、罗兰海图和台卡海图等。

奥米加海图上的位置线是为奥米加导航系统绘制的。奥米加导航系统由均匀分布在全球的 8 个地面发射台组成，其代号以 A，B，…，H 表示。任意两岸台都可组成一个台对。如 AC，DH 等。在一个台对代号中，前一字母为主台，后一字母为副台。每一台对之间有 600～800 条位置线。奥米加海图上以细实线表示这些位置线。每条位置线上标注出台对代号及位置线的巷号。通常是把台对中心的位置线的巷号定为 900，其他位置线的巷号相应依次等间隔编排。图 11.12 是奥米加海图上的位置线及其注记。

如图 11.13 所示，台卡海图是在普通海图上加绘台卡双曲线位置线。台卡导

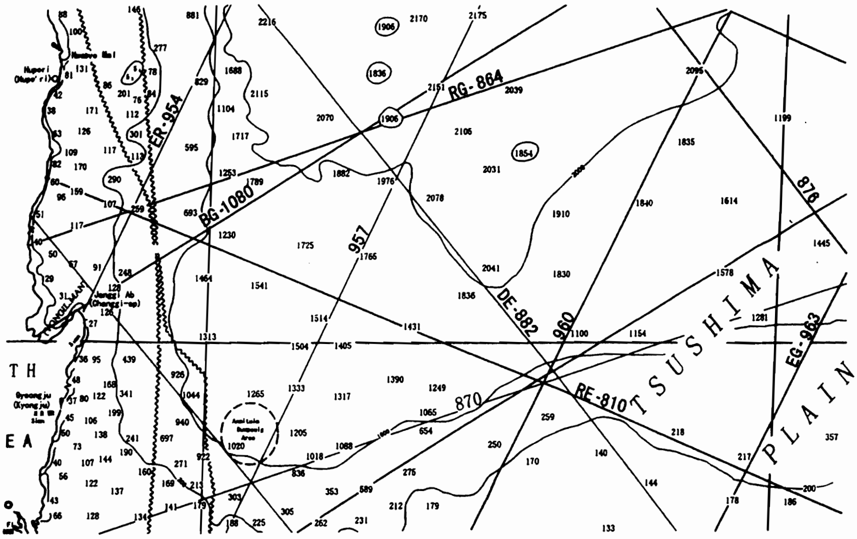


图 11.12　奥米加海图的位置线及注记

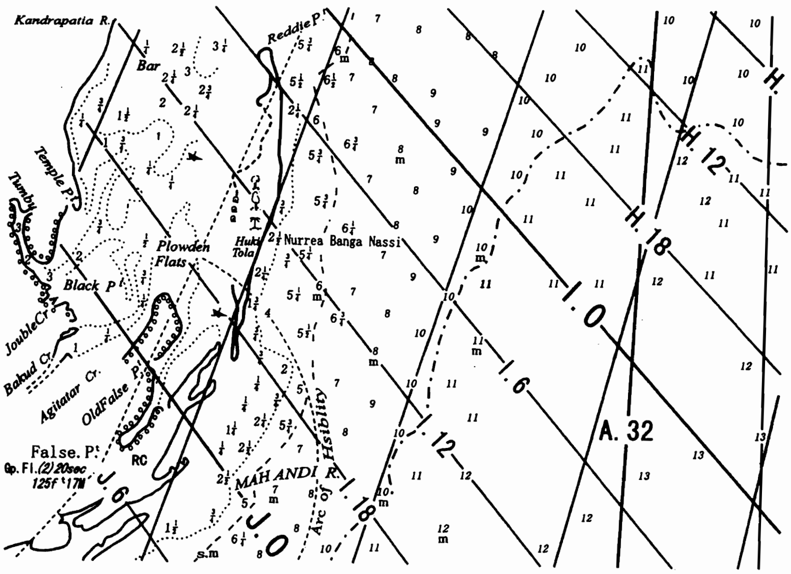


图 11.13　台卡海图的位置线及注记

航系统通常由一个主台（M）和三个副台——红（R）、绿（G）、紫（P）呈人字形布局，组成一个台链、三个台对。每个台链以一个数字（0～10）和字母（A，B，…，F）命名，并分别代表不同的主台发射频率。如 5B 代表英吉利链，发射频率为 85kHz。台卡位置线在海图上用细实线表示。每条位置线上标出巷和分巷。巷实际上是相位差的一种表示。

2. **圆弧格网**

圆弧格网是航海六分仪测得目标的水平夹角的位置线。如图 11.14 所示，设测得目标A，B，C的水平夹角分别为每α，β，过两个目标作圆周角α，β的圆弧APB和BPC。根据几何定理，该圆弧上任一点所测两目标的水平夹角均与α或β相等，所以该圆弧即是对该两两目标水平角为α，β的位置线。在海图上选择适宜的航海目标点，分别加绘出两目标的不同水平角的位置线组成圆弧格网，供舰船定位使用。

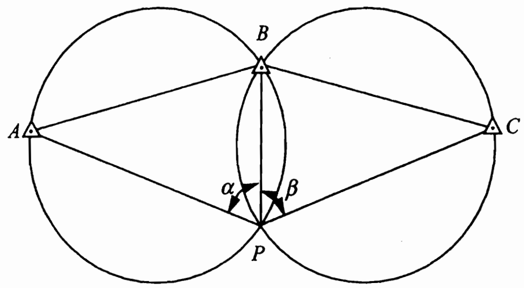


图 11.14　两目标水平角位置线

海图上加绘圆弧格网一般用于大于 1∶5 万比例尺的海图上。对投影变形较小的大比例尺海图，只需根据平面几何原理直接加绘。当考虑投影变形时，则需把大地距离和大地方位角视为球面距离和球面方位角，然后利用目标的球面经纬度和实测角度与船位的球面经纬度建立球面曲线方程式，将球面曲线再投影到海图平面上，从而获得所需的圆弧格网。

3. *方位位置线格网和距离位置线格网*

(1) 方位位置线格网

海图上加绘方位位置线，主要供航海人员用罗经观测目标方位定位时使用。在视力所及的 20～30n mile 范围内，地球可看成是平面。在平面上，方位位置线为一组射线。海图上可加绘两个目标点的两组交叉射线，即可满足航海定位要求。图 11.15 是两目标方位位置线格网，图上以两种颜色的细实线表示。所注记方位系舰船自海上视目标的真方位。通常是在陆地目标稀少，又需要实施快速定位的海区海图上加绘其方位线格网。

(2) 距离位置线格网

距离位置线格网主要供舰船利用测距仪，以单方位距离或两距离交点定位时使用。在需要加绘距离位置线的海域，选定使两距离位置线相交约成 90°角的两目标，然后等间隔表示出距离圆位置线格网，并注出相应的距离值，单位取公里或海里。图 11.16 是我国早期出版的距离位置线格网图。

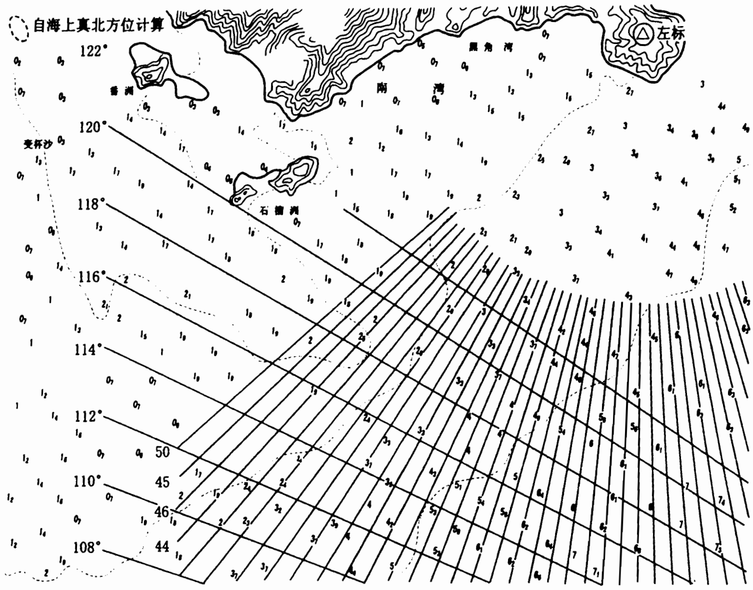


图 11.15　两方位位置线格网

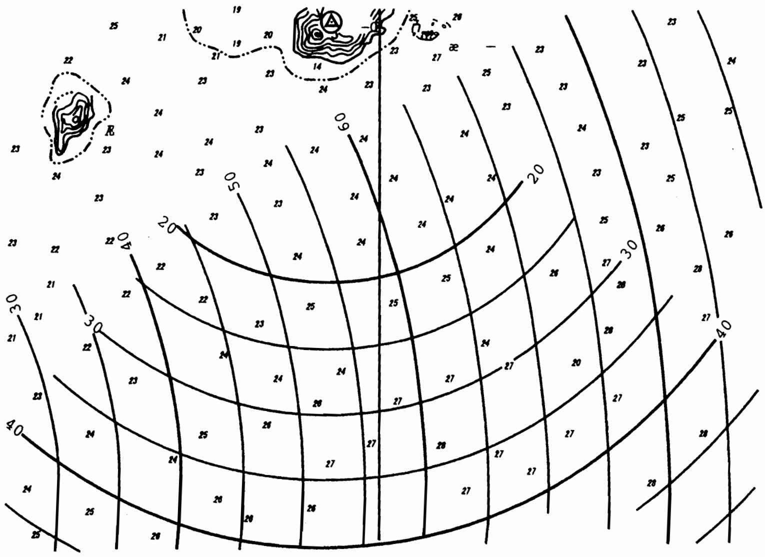


图 11.16　距离位置线格网图

4. 方格网

海图上的方格网是按一定的经纬度间隔用同一种颜色的实线加绘的。每一个格网都具有坐标号。方格网适于雷达导航站按坐标号直接用无线电信号通报被导航舰船位置。另外，利用格网坐标位置，在战时可起到保密作用。

我国出版的方格网海图，是在航海图或其他海图上加绘的。按经纬度每 2 分加绘细线，形成大方格。这样每 6 分加绘粗线，每个大方格就由 9 个小方格组

成，依 1，2，3，…，9 顺序编号，因此，该图又称为九九格网图。

（六）海图的辅助的表示方法

海图的辅助表示方法是指对潮汐、海流、陆地的航行目标等内容要素的辅助表示。主要有潮信表、海流表、对景图及方位引示线。

1. 潮信表

潮信表主要是向航海人员提供图内各港湾潮汐变化的基本情况和基准面的高度。在大中比例尺海图上均配置潮信表。由于潮汐类型不同，潮信表的形式也不同，主要有半日潮型、全日潮型、不正规半日潮型。表 11.3、表 11.4 和表 11.5 是几种不同类型的潮信表的表示形式。

表 11.3　全日潮型潮信表

地 点	位 置	平均高潮间隙	大潮升	小潮升	平均海面
大管岛	36°13′44″N 120°46′00″E	04 h 15 min	3.7 m	3.0 m	2.2 m

表 11.4　半日潮型潮信表

地 点	位 置	平均高潮间隙	平均低潮间隙	大潮升	小潮升	平均海面
营城子湾	38°58′12″N 121°19′12″E	00 h 06 min	06 h 19 mm	1 9 m	1.6 m	1.2 m

表 11.5　不规则半日潮型潮信表

<table>
<tr><th rowspan="3">地点</th><th rowspan="3">位置</th><th rowspan="3">潮面</th><th colspan="2">月赤纬 0°时</th><th rowspan="3">潮面</th><th colspan="3">月赤纬最大时（月上中天）</th><th rowspan="3">平均海面</th></tr>
<tr><th rowspan="2">平均潮汐间隙</th><th rowspan="2">平均潮高</th><th colspan="2">平均潮汐间隙度</th><th rowspan="2">平均潮高</th></tr>
<tr><th>北赤纬</th><th>南赤纬</th></tr>
<tr><td rowspan="4">雷州湾</td><td rowspan="2">25°50′N</td><td rowspan="2">高潮</td><td rowspan="2">11 h 32 min</td><td rowspan="2">3.5m</td><td>高高潮</td><td>23 h 29 min</td><td>11 h 04 min</td><td>4.1m</td><td rowspan="4">2.4m</td></tr>
<tr><td>低高潮</td><td>12 h 00 min</td><td>24 h 25 min</td><td>2.6m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">110°11′E</td><td rowspan="2">低潮</td><td rowspan="2">05 h 18 min</td><td rowspan="2">1.2m</td><td>低低潮</td><td>05 h 55 min</td><td>18 h 20 min</td><td>0.9m</td></tr>
<tr><td>高低潮</td><td>16 h 46 min</td><td>04 h 21 min</td><td>1.2m</td></tr>
</table>

2. 潮流表

潮流表是海区回转潮流的一种以图表表示的形式，如图 11.17 所示。通常是回转潮流位置处周围要素较多，且重要而不便遮盖所采取的一种方法。一般情况下，潮流表上的主港应选择在有潮汐资料的距离回转潮流最近的港口。当回转潮流的主港未列入潮信表时，应在潮流表中说明主港的高潮间隙。

主港	时间（t/h）	A 108°56′.5E 21°23′.0N 流向	A 流速/km 大潮	A 流速/km 小潮	B 108° 45′.2E 21° 23′.5N 流向	B 流速/km 大潮	B 流速/km 小潮
	6	213°	0.5	1.9	221°	1.9	5.1
	高 5	225°	0.5	1.2	215°	1.3	3.8
青	4	230°	0.3	0.7	150°	1.0	1.5
	潮 3	232°	0.2	0.4	040°	0.7	0.4
	2	228°	0.4	1.6	038°	1.2	2.7
	前 1	060°	0.5	1.7	038°	1.3	4.7
海	高潮 0	050°	0.5	1.9	040°	1.4	5.3
	I	042°	0.4	1.9	042°	1.3	4.1
	高 II	044°	0.3	1.8	130°	1.0	1.9
	III	100°	0.1	0.4	214°	0.5	0.4
港	潮 IV	222°	0.3	0.5	220°	0.1	1.9
	V	221°	1.6	1.3	221°	0.5	4.4
	后 VI	218°	1.9	1.9	224°	1.1	5.1

图 11.17　我国海图上的潮流表

3. 对景图

对景图是舰船在海上一定位置附近，视海岸、岛屿、山头、港口和水道的入口的目标景观的素描图或照片，见图 11.18 所示。



图 11.18　对景图

4. 方位引示线

方位引示线（见图 11.19）是根据航海需要，对海图范围以外的重要航海目标，在内图廓线里侧引入的该目标的方位线。通常是在近海和沿岸航行图上加绘。所选择的导航目标一定是在视距范围内或灯光射程范围之内定位有用。

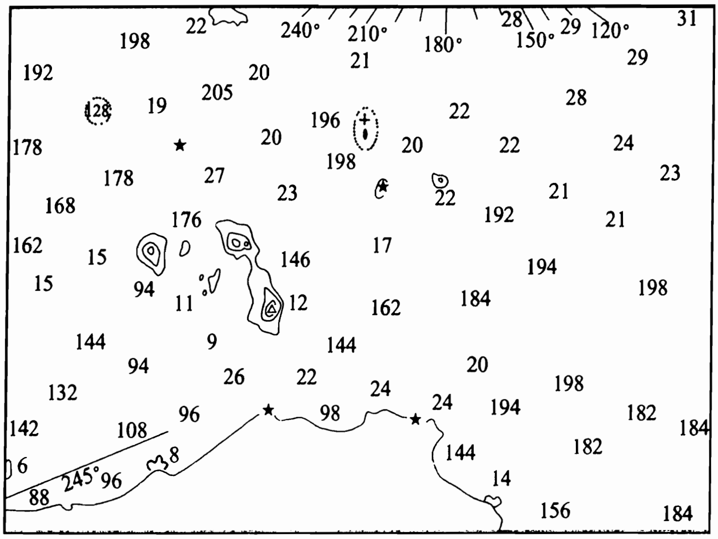


图 11.19　方位引示线

第二节　航空图特点及其表示方法

一、航空图的类型

航空图是专供航空使用而设计的专题地图。它是空中和地面领航的重要依据，也是各级指挥员指挥作战的工具。它是空军武器系统运行的组成部分，也是在现代高科技战争中获取空中与地面、动态与静态、有形与无形，乃至整个战场态势信息的重要组成部分。

航空图与普通军事地图既有联系，又有区别。它着重表示航空资料以及与领航有关的地理要素，强调图形概括应保持与实地形状相似和重要目标位置准确性，正确反映各种自然和社会人文现象的空间分布、组合、联系及其在时空中的变化和发展。

在 GPS 导航定位技术还不足以满足飞机起降所需要的精度时，飞行仍需靠目视地面目标进行操作。航空图是空中领航、地面导航和空中寻找目标的工具。可以利用航空图拟订飞行计划，确定航线，研究飞行区域并通过量算获得所需的数据。在飞行过程中通过地面目标确定飞行位置和方向，并记录航迹线，确定飞行高度。

由于用途不同，航空图主题内容和使用条件也不一样。通常分为普通航空图、专用航空图和领航参考用图三种。

(一) 普通航空图

以地形图为基础加印飞行要素编制而成，这种地图往往覆盖一个大区域、全国甚至全世界，它的比例尺通常为 1∶50 万、1∶100 万、1∶200 万，最通用的是 1∶100 万。

1∶50 万航空图，供中、低空低速和超低空以及近、中程飞行使用。该图表示有足够的检查点和垂直障碍物，用于轰炸机、强击机、小型运输机、救护部队以及航空兵支援地面部队作战、实施炮火准备，配合抗登陆作战等使用。

1∶100 万航空图，供中空、中速、中程飞行使用，用于拟订计划航线，组织对空防御和指挥空战，作为航空兵部队综合性用图以及民航运输用图等，是目前使用最广的航空图。

1∶200 万航空图，供高空、高速、远程飞行使用，用于拟订飞行计划，以及作为歼击部队高空飞行，轰炸部队和运输部队转场使用。尤其对民航运输来说，是非常有用的图种。

普通航空图可以满足我军现有机种飞行使用，主要是用于地标领航，对仪表领航只能起到辅助领航的作用。使用时可在图上选择航线、量测航向、计算航程、确定航高、检查地标、寻找目标、判定飞机位置和改正飞行航向等。这三种比例尺航空图，由于地图投影、符号系统、地理基础、地图内容、制图综合、表示方法和图面形式等方面，具有统一性和可比性，可配套使用，这对进行各种军事活动，提高航空兵部队的快速反应能力，以及民航运输和专业飞行都具有重要作用。所以，普通航空图是领航中最常用的图种。

(二) 专用航空图

专用航空图是根据飞机种类、机载设备、任务性质和某种特殊用途而专门制作的地图，通常是在普通航空图基础上编制而成的。专用航空图的种类虽多，但每一种都集中表示一个主题，并有专门用途。该图的制图范围可大可小，大到整个世界，小到一个机场、一个目标，因此，地图比例尺大小不一，地图内容、表示方法和图面形式也不尽相同。现介绍几种常见的专用航空图。

1. 航路图（又称航线图）

沿固定航线编制的带状地图。该图以航路为中心，表示具有一定宽度的空中通道。航路自起点至终点配置在图内。比例尺通常有 1∶50 万、1∶100 万和 1∶200万三种，分别为低空、中空和高空在固定航线上往返飞行使用。最适宜采用等角斜圆柱投影。图幅大小取决于航路的长短和地图比例尺大小。

2. 基地训练图（又称基地半径图或空域图）

以航空基地或重要目标为中心，以飞机最大航程为半径编制的地图。该图比

例尺一般为 1∶50 万或 1∶100 万。该图最适宜采用等距离斜方位投影，符号系统和内容表示与相应比例尺普通航空图基本相同，但着重表示机场及其跑道方向，以及固定的轰炸或射击靶场。在最大活动范围内，对突出山峰高程和垂直障碍物及其标高（绝对高、相对高）表示较详细。供航空兵部队在规定空域内组织实施各种训练时使用。

3. 目标图

预定目标区域编制的地图，供执行特定任务接近搜索目标使用。该图比例尺等于或大于 1∶25 万，通常采用高斯-克吕格投影，地理要素和航空资料表示都很详细，有时可用同比例尺地形图或影像地图来代替。作为飞行前研究目标以及飞行中寻找目标或接近目标时使用。

4. 无线电领航图

为无线电领航编制的地图，通过无线电设备判定飞机位置和航向。该图比例尺取决于飞行区域的范围大小，一般在 1∶50 万～1∶500 万之间。通常采用双标准纬线等角圆锥投影，主要表示空中交通勤务系统，机场及其有关资料，导航设备，位置报告点及其注记和与航线有关的数据，以及每个经纬线网格内最大安全高度，特殊空域和垂直障碍物及其高程等。以上内容均以深色突出表示在第一层平面上。地理要素只表示海岸线、主要河流、大湖泊、国界和飞行指挥区界及其转弯点有关的居民地及其名称注记等。以上内容均以浅色表示在第二层平面上。它是通过飞机和地面上的无线电设备测定飞行航向和飞机位置，引导飞机沿着预定航线飞向目标或返回机场。该图适用于飞机在云上、云中、夜间能见度不良的气象条件下，或在海洋、沙漠、草原等缺少地标地区和远程飞行使用。

（三）领航参考用图

领航参考用图又称参考用航空图。它不直接用于领航，而只是为领航提供有关资料，以保障飞行安全。一般有兵要地志图、地磁图、时区图、天黑天亮日没日出图、海图、各种气象图、卫星影像图、大圆航线参考图和等角航线参考图等。

另外，航空图，除按以上三种方法分类以外，还有其他分类方法。例如，按领航方法可分为地标领航图和仪表领航图；按制作材料可分为夜光航空图、塑料航空图、丝绸航空图、化纤航空图、纸质航空图和软片航空图。

二、航空图的特点

（一）对航空图的基本要求

编制航空图必须满足以下要求：

1. 准确性

航空图内容各要素的表示必须准确可靠，否则会给飞行人员在空中准确判定飞机的位置带来很大困难，严重时会造成迷航，甚至发生飞行事故。所以说，航空图的准确性是飞行安全的可靠保证。

2. 现势性

飞行对地面物体依赖程度很大，要求航空图的现势性很强，航空图更新周期要短，要及时地将地面上变化了的物体（如变化了的居民地，新建公路、铁路、桥梁、水库、工厂、发电站等）增补在图上，为地标领航及时提供新的地面目标。

3. 相似性

图上各要素的图形和相关位置应与实地保持一致，这是从空中对照地面识别地标的重要依据，它有助于迅速辨认地标。

4. 明显性

突出表示航空资料和作为主要地标的地理要素，并突出地表示在第一层平面上；作为次要地标和反映地理景观特点的地理要素，均退居在第二层平面上。这样，地图内容主次分明，清晰易读，便于领航人员识图用图。

（二）航空图的要素

1. 地图投影

根据航空图的类型及用途要求选择不同的投影。航空图投影要求角度无变形，长度变形控制在最小限差之内。在一定的范围内，图上的图形与实地形状应保持相似，大圆航线和等角航线尽可能表示为直线或近于直线。1∶100 万航空图使用国际 1∶100 万地图通用的双标准纬线等角圆锥投影。1∶50 万航空图采用高斯-克吕格投影，航线图采用等距离斜圆柱投影，基地图采用等距离斜方位投影。

2. 比例尺

航空图的比例尺决定于航行速度和特定用途，航速在 200～500km/h 时通常使用 1∶100 万地图；航速较慢使用较大比例尺，例如 1∶50 万；航速较快使用较小比例尺，例如 1∶200 万。着陆图、目标图等通常用更大的比例尺。

3. 分幅编号

1∶50 万、1∶100 万、1∶200 万航空图的分幅编号与普通地图一致，均采用经纬线分幅，1∶100 万和 1∶200 万用行列式编号，1∶50 万地图在此基础上加自然序数编号。

（三）航空图的表示特点

1）突出表示航空要素。其内容主要有机场及其跑道，垂直障碍物，机场控

制塔、导航设备、无线电导航台（站），助航灯塔，特殊空域（禁区、限制区、危险区、飞行通道等），等磁差线及磁力异常点（区）、磁差年变率等。通常用紫色表示在第一层平面上，突出醒目。

2）高程注记的等级及其可靠程度有明显的区分。图幅的最高高程注记用红色较大字级注出，并框以红线，框内不套印地貌的色层，以示突出；在绘有小分划的经纬线网格内的主要高程注记，用红色次大字级注出；一般高程注记用黑色较小字级表示。用不同颜色的字体字级区分高程注记等级，便于迅速确定飞行区域内的安全高度。对不可靠的高程，在其注记后面注有概略高程符号“±”，以提醒飞行人员注意。

3）航空图的基础地理要素同普通地图一致，但其选取和显示的着眼点有所区别。航空图上主要选取有地标作用的地物并予突出表示，强调面状地物的平面轮廓特征、形态特征等，如湖泊的形状、河系的类型。有的甚至夸大表示特征弯曲点。

4）强调面状、线状、点状地标的相互关系。正确地反映出它们之间的有机联系，是识别地标的很好的依据，不但有利于从空中辨认地标、寻找目标，而且能够很快地从周围地标的相关位置中确定其所在的位置。

5）图内经纬线上注有经纬度辅助注记。在表示有主要高程的经纬线网格内，绘有分划短线（一般将 1 度分为 60 等分），并注有经纬度辅助注记，能快速读取某点的地理坐标。

6）重视制图区域和图幅及各要素的色彩设计，适合不同光线条件下的使用。

三、航空图内容的表示方法

（一）航空图符号的设计

航空图符号的设计，应满足领航用图的需要，并容易为飞行人员所接受。为此，航空图符号设计应体现以下特点：

1）航空图以地理要素为基础，主要用于地标领航和目视定位，所以，航空图可看作地形图的一种特殊形式。因此，某些符号的图形和颜色应与地形图相同符号保持一致性，并采用某些传统习惯性的符号，既有普遍意义、又容易识别。

2）系列比例尺的 1∶50 万、1∶100 万、1∶200 万航空图，以及各种专用航空图，其符号的分类和分级具有系统性。主要符号的图形和颜色基本上是一致的，只是在线划粗细和尺寸大小上随着比例尺的不同而有所变化。

3）航空图上表示的机场、等磁差线等航空资料符号（图形和颜色），形成了标准的格式。为便于国际交往用图，这些符号已与世界航空图保持一致，并逐渐趋向国际化。

4）符号充分反映物体的共性、层次性和从属性，整个符号系统具有逻辑关系。例如，铁路符号是一类，在此基础上又区分出复线铁路和单线铁路不同的等级层次；境界符号是一类，又有国界和省界的不同等级之分，具有从属关系，这就反映了符号系统的逻辑性。

5）符号的图形和颜色具有直观性和差异性。既能引起用图者对物体的联想，又能利用色相间的差异，使同一图形符号具有不同含义［如公路桥（红）和铁路桥（黑）］，这样可以丰富航空图内容，提高地图的质量和读图效果。

1. **符号的图形**

航空图的符号图形要求形象生动，简单直观，容易识别。符号图形的构思，应着重表达物体最主要的特征，使用图者看到符号能联想实地的物体。另外，要做到图形简单，符号构图就要有规律性和逻辑性。所以，基本的几何图形（圆形、方形、三角形等）常常是构图的基础式样。从视觉效果来说，简单的图形有助于提高符号图形的清晰性，也易于记忆和辨认。

2. **符号的尺寸**

符号尺寸的变化，可用来区分符号等级和提高地图内容表达的科学性。在航空图上，首先要突出航空图的主题内容。比如，机场符号的圈形直径要比重要城市符号的圈形直径大一倍，这就显得机场符号突出醒目。规定符号尺寸的大小，取决于物体本身的领航价值，即领航价值大的主要地标，符号尺寸相应较大；领航价值小的次要地标，符号尺寸相应较小。比如，主要公路符号线划要比一般公路符号线划粗些。规定符号尺寸的大小，还取决于航空图的比例尺，同样一个符号，小比例尺航空图比大比例尺航空图的符号尺寸相应小一些，当然还要考虑符号的最小尺寸不能小于眼睛视觉敏感度的最低限度。

3. **符号的颜色**

符号的颜色有色相、明度和饱和度三个属性。利用这三个属性的变化，可以将航空资料的内容和领航价值大的主要地标用鲜明的颜色突出表示在第一平面上，引人注目，使飞行人员阅读航空图时，能迅速获取视觉信息，有利于导航。从航空心理学角度来讲，素雅的颜色还会给飞行人员带来舒适、镇静、安全的感觉。航空图用色，应着重考虑用途和主题，并象征物体本身的自然颜色，以及地图的传统习惯用色等。下面是现行航空图的用色：

1）蓝色表示水系要素，浅蓝色表示水域范围。

2）红色表示公路及需要醒目表示的内容，如图幅最高高程注记和绘有小分划的经纬线网格内的主要高程注记等。

3）黑灰色表示地貌等高线及其注记和地貌符号。

4）紫色表示航空资料的全部内容。

5）绿色的不同色调表示地貌的低平原及不同高度的高平原（即相对平地）。

6）青冈色表示地貌晕渲。

7）黑色表示居民地、铁路、境界、独立地标及一般高程等。

（二）航空图的注记

航空图上注记的要素包括字体、字级（即字大，以下同）、字色等，用于区分不同物体和现象。下面分别介绍航空图上的文字注记和数字注记的要素。

1. 文字注记

1）居民地名称注记。城市以上居民地均采用黑色粗等线体，字级大小按城市行政等级的大小而定，其他居民地采用黑色、字级小的细等线体。

2）航空资料注记。机场、无线电导航台（站）及轰炸靶场等名称注记均用紫色的中等线体，字级按其本身的大小而定。

3）水系名称注记。海洋、海峡、海湾、湖泊、河流和运河等名称注记均用蓝色的左斜宋体，字级的大小，除河流和运河按其长短区分外，其他均按其面积的大小而定。

4）群岛（列岛）名称注记。均用黑色的扁等线体，字级的大小按其分布范围的大小而定。

5）岛屿、半岛、海角、沙咀、沙漠及盆地的名称注记。均用黑色的粗宋体，字级的大小按其面积的大小而定。

6）山脉及山岭名称注记。均采用黑色的耸肩等线体，字级的大小按山体的大小或走向的长短而定。

7）山峰及山隘名称注记。均用黑色的长等线体，字级的大小按山峰的高度和著名程度而定。

8）其他注记。主要为说明注记，除领土归属和地貌说明用黑色外，其他均与相应符号同色，字体为细等线，字级大小视图上面积而定。

2. 数字注记

图幅最高高程注记和绘有小分划的经纬线网格内的主要高程注记，均采用红色的长等线体，字级前者比后者大。一般高程注记采用黑色的正等线体，字级比主要高程小。

机场标高及跑道方向注记，均采用紫色的中等线体。机场障碍物顶端高程及比高采用紫色的正等线体。

特殊空域编号注记采用紫色的扁等线体，字级的大小依其空域面积的大小而定。

等磁差线注记采用紫色的中等线体；等高线注记用棕色的正等线体；等深线注记用蓝色的正等线体。

（三）航空图上自然地理要素的表示

1. 航空图上水系的表示

航空图上的水系不仅是地形的骨架，也是重要的地标之一。水是昼夜航行均容易发现的地面目标，海岸、河流、湖泊、水库、沟渠都有明显的定位作用。因此，在航空图上必须正确反映水系的位置、类型、形态和分布密度，并正确保持水系与其他要素的关系。在河网区域，要突出那些形状有特征的目标，而不在于其密度对比。

（1）湖泊、水库的表示

在航行中，从空中俯视地面，湖泊水面的反光是非常醒目的地标，飞行员最先发现湖泊、水库，进而对比其他地标，确定飞机位置。所以在航空图上应正确地表示湖泊的类型、形状及分布特征等。

表示湖泊时应特别注意反映湖泊与地貌、水系的联系及湖岸地带的性质。湖泊的形状与其成因和所处环境关系十分密切。对于火口湖、水库等，概括岸线应与概括等高线的图形取得一致，对于构造湖则应注意湖泊形状及延伸方向与谷地或盆地的方向相适应，潟湖的延伸方向则应与海岸相适应，并且保持岸线的曲折特征，对于与河流有联系的湖泊，应注意进水与出水的河口地带的不同特征，一般进水方向的河流，在与湖泊的交汇处有冲积的三角洲，如注入青海湖的布喀河、注入洞庭湖的湘江、注入鄱阳湖的赣江等江河，在交汇处都有较大的三角洲，有的三角洲上河流分支成扇状，沿岸沼泽广布，湖中冲积岛很多，显示湖泊已发育至晚期阶段。进水与出水河流在用单线表示时，要保持由细变粗的连贯性。

对于小面积湖泊，在进行形状概括时，允许稍加放大表示，但应保持分布方向和外形轮廓特征。牛轭湖过窄时可稍放宽表示，也可用单线表示。整齐的鱼塘区，可用单线表示鱼塘，但应保持分布特征和密度对比。

湖泊形状主要有圆形、三角形、长条形、弧形、桨叶形和多支汊形等。在小比例尺航空图上，湖泊面积虽然一般较小，但应强调它们不同形状的特征。

航空图上水库的面积大于 1mm 时，按其平面图形表示，小于 1mm 的水库以记号择要表示。依比例表示的水库的坝或闸必须表示，并保持其位置准确。山谷水库形状一般是很复杂的弯曲，概括时，水库岸线应与地貌等高线图形协调一致；平原水库形状一般都很简单，少曲折，概括时应反映岸线比较平缓的特征。

（2）河流的表示

航空图编绘大纲规定：图上宽于 0.4mm 的河流，用双线表示，不足 0.4mm 时用单线表示。单线河用 0.15～0.5mm 的线号表示，短于 10cm 的河流则用 0.15mm 的固定线号绘出。另外，图上长度 1.5cm（1∶50 万）、2.5cm（1∶100 万、1∶200 万）以上的河流都应选取，其余一般应舍掉。

这些数据可以作为河流选取的一般标准。在一般情况下，凡是大于这些数据的河流均应选取。但实践证明，不能机械地执行选取标准，否则，将导致河系图形特征的歪曲。因此，河流的表示要注重河系类型和特征的显示。如在个别情况下，对大于取舍标准的河流也应灵活处置，如平行状河系、扇状河系和一些平原河网稠密区，河流彼此靠得很近，其间隔小于 3mm 时，就需适当舍去一些大于选取标准的次要支流。在河流下游形成辫流河网或大河下游三角洲上的扇状河系等地区，应该保留主河道和外围河道，以保持相应疏密对比、总的流向和彼此联系，来取舍内部的次要河道。其他河流，如时令河、伏流河、消失河、运河和渠道及草绘的河流，均应由主到次，反映形态特征，按其地标意义酌情选取。

航空图上双线河多采用真形符号表示，更加醒目。河流的表示与河流的交汇应反映出主支流关系。支流注入主流，不管其与主流交角大小，在汇口处一律朝流向方向成锐角相交。

2. 航空图上地貌的表示

地貌是稳定的、便于检核的目标，对飞行安全有重要影响。当飞机沿着连绵不断的山脉的山脊飞行，或者沿着较长的谷地飞行时，地貌可作为应飞的航向使用。地貌的形态特征，比如高耸的山峰、高山的雪原、平地上突起的山丘、平原边缘形成的山墙或断崖、山地中的相对平地、开阔的谷地及宽敞的山口等都是明显的地标，又为飞行安全提供了依据。地貌形态特征是自然存在的，关键是如何科学地认识掌握它，并使之为飞行服务。

航空图上真实准确地反映地貌形态的方法有四种：等高线法、分层设色法、晕渲法和相对平地法，它们互相联系、互为补充，加上一些特殊的地貌符号，更为生动自然。

(1) 等高线法

等高线法是一种比较科学的方法，是现代地图上显示地表起伏形态最常用的一种方法。等高线法也是其他地貌表示方法和显示地貌立体效果的基础。

利用等高线除了可以表示地貌类型、地表切割程度外，还强调山顶的高度、山顶的形状、山体的轮廓，而不在于其碎部的描绘。

在航空图上多采用变距等高距，因为航空图的比例尺小，图幅幅面大，包括实地的范围广。因此在同一幅图上会出现有不同的地貌类型，若采用同一等高距来表示所有地貌类型是有困难的，所以采用变距的等高距，将地貌的极高山、高山、中山、低山、丘陵、平原类型，划分成几个不同的高程带，随着高程的增加而逐渐加大等高距。表 11.6 是系列比例尺航空图的高程带和等高距。

(2) 分层设色法

分层设色法科学地利用色彩效果，显示地貌高程带不同高度的颜色对比，明显反映了地势的高低起伏变化和高度分级特征，增强了地貌的立体效果。因此，

在世界各国的航空图上被广泛应用。

表 11.6 系列比例尺航空图的高程带和等高距

1∶50 万		1∶100 万		1∶200 万	
高程带/m	等高距/m	高程带/m	等高距/m	高程带/m	等高距/m
600 以下	100	300 以下	100	0 以下	100
600 以上	200	300～500	200	0～200	200
		500～2000	250	200～500	300
		2000 以上	500	500～5000	500
				5000 以上	1000

航空图上的地貌分层设色，基本采用“越高越暗”或“越高越亮”的原则构成色层表，也有以它们为基础稍加改进和创新的色层表。依据领航要求，分层设色的色层表的设计，要充分体现色层的色调反差明显，变化协调自然，有连续感，避免产生跳跃和突变的现象，以利于从空中迅速观察地面高低起伏变化和地貌高程带色差的对比。我国第二代 1∶100 万比例尺航空图采用的色层表如图 11.20 所示。

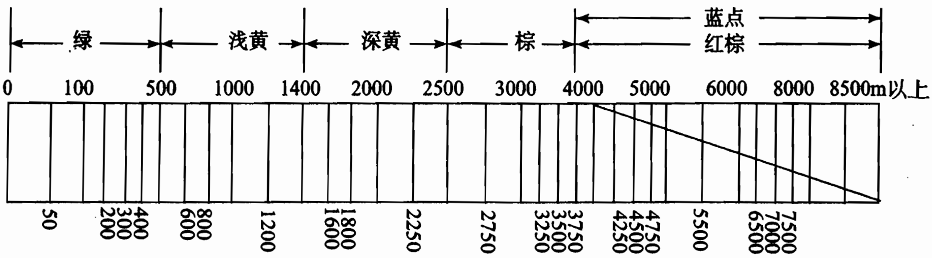


图 11.20 我国第二代 1∶100 万比例尺的航空图采用的色层表

(3) 晕渲法

晕渲法是航空图上用来表示地貌立体感常用的一种方法。当前利用晕渲显示地貌，虽然不能直接量测地面高度和坡度，但可以加强显示山脉和山岭的走向，能生动而直观地表示地面起伏形态，以增强地势的立体效果。航空图上用晕渲法表示地貌，特别有利于夜航，在红光灯或紫光灯照射下，地貌晕渲比地貌分层设色更加明显。在山区飞行时，晕渲对雷达辅助领航有更大的作用。另外，晕渲还能反映平坦地区的某些地貌特征，如阶地的陡坡、独立的小山头、小丘等，这是用等高线也无法表示的。

航空图上通常采用单色斜照半晕渲法。因为显示地貌的重点是从宏观上反映地貌的基本特征，对微观地貌一般不作表示，只是对具有地标作用的突出山峰和

平原上的孤立小丘等，才运用晕渲法表示出来。

航空图上表示地貌，一般是以分层设色为主再辅以晕渲。既显示出高程分布，又能增强立体感，也不会影响图面的清晰易读。地貌晕渲通常以半晕渲为主，要渲绘得简练，碎部不宜渲绘得过细，着重渲绘山体的主要部位。但需用分层设色等方法明显表示地形高度分布。

（4）相对平地法

相对平地是指在任何高度上地面比较平坦的地方。相对平地法，是地貌分层设色法中一种特殊的表示平地的方法。分层设色法通常是按不同地貌类型（单元）的高度划出若干高程带，每一高程带设以不同的色相及其色调表示地貌的高低起伏。以往航空图与普通地图一样，对平坦地的表示，仅限于低平原，没有将不同高度上的高平原（即相对平地）用浓淡有别的绿色调反映出来，这给飞行人员在山区飞行时需要寻找平坦地带来困难。所以，从第三代 1∶100 万比例尺航空图开始表示了“相对平地”，使飞行人员能直观而迅速地识别出不同高度上的相对平地，这就更有利于领航用图。

表示相对平地对于飞行有许多好处。例如：在航空图上，平地与山地的色彩互相衬托，形成鲜明对比，不但改善图面效果，而且容易识别山地中的平地，或平地中的小丘，由于醒目，是良好的地标；有助于突袭目标，适应于低空和超低空飞行，可满足作战与训练的需要；有利于选择飞行航线，便于选择空投和空降场地，在紧急情况下，还可以从相对平地中寻找临时迫降场等。

表示相对平地时，其地面坡度、平整度及实地的最小面积等，都相应有限值规定。凡符合规定要求均应表示。由于航空图的比例尺小，采用可变等高距，且等高线的垂直距离随着高度的增高而加大。所以，地面坡度与平整度，无法从图上等高线直接量算出来。通常是在采用固定等高距的大、中比例尺地形图上，量算地面坡度与平整度。同样，确定相对平地的轮廓线，也是根据大、中比例尺地形图在多光谱卫星图像（合成的彩色影像）上，可以识别出相对平地的轮廓形状，并可作为确定其轮廓线的参考。

3. 航空图上植被要素的表示

航空图上只表示有地标意义的植被。在地标稀少地区，图上面积小于 $1cm^2$（1∶100 万、1∶200 万）和小于 $4cm^2$（1∶50 万）孤立的树林和密集灌木林均应表示，灌木林应加“灌木”说明注记；位于沼泽或河、湖、海滩处的水草，图上面积大于 $1cm^2$ 的均应予表示，并按其分布范围配置水草符号，一般间隔 2～4mm；图上长于 2cm 的狭长林带或防护林带应予选取，均以狭长林带符号表示；图上面积大于 $16mm^2$（1∶100 万）、大于 $25mm^2$（1∶200 万）的红树林应予表示。

航空图上植被的表示，主要是保持轮廓边线的主要转折点，保持边线的直线

段和曲线段特征，删除次要的微小碎部。因为主要转折点的保持便于地面和空中判定方位。

(四) 航空图上社会经济要素的表示

1. 航空图上居民地的表示

在航空图上，居民地是飞行中判定方位指示目标的主要依据之一。飞行人员在执行轰炸、空投、交通运输、抢险救灾等任务过程中，一般都是针对地面目标的。另外，居民地在航空图上是飞行人员判定方位、确定位置、计算量取飞行数据、给出飞行诸元的重要依据。在领航中，它既有坐标的意义，亦有可视地标的意义。

在1：100万航空图上，居民地舍得较多，大约只取1%左右。对于航空图的特殊要求来说，居民地的重要性，要根据居民地本身所处的位置及与其他要素相互联系的地标价值来考虑。地图上应选择有特殊位置、在空中容易辨认的居民点，如河流交叉点、弯曲处、交通枢纽、火车站附近的居民点及大居民点。要显示居民点的外部轮廓、主要结构及同周围要素的关系。凡能以平面图形表示的居民地，在其轮廓内普染醒目颜色，以增强其明显性。

城市居民地等级的划分主要是按目标明显性（指图上平面图形较大而所在位置重要）及政治、行政意义来确定的。除首都或首府外，划分为重要城市（省、自治区、直辖市政府驻地及外国一级城市等）、一般城市（县、自治县、旗及相当于县级的市，远离市区的区级政府驻地）和其他居民地三级。对于1：100万航空图来说，我国的首都北京、各省、市、县及相应的行政区划等级的政府驻地都是必须表示的，不存在取舍的问题。我们可以在必须全部选取与可取可舍的居民地之间划一条界线（即选取标准），凡是选取标准以上的居民地全部保留。

居民地一般是用平面图形和圈形符号表示。图上面积大于$2mm^2$的用平面图形表示；平面图形面积大于$4mm^2$（1：100万、1：200万）、大于$8mm^2$（1：50万）的，按规定绘出约定中心点；图上面积大于$50mm^2$的，要划分出街区，街区的面积一般不大于$25mm^2$；有明显街道结构的地段，都应概括在轮廓以内，但街区间距大于0.5mm时应分别绘出。

随着用途、比例尺的改变（例如在1：100万比例尺航空图上），居民地平面图形的面积已经很小时（$4mm^2$），就不可能再细分内部结构了，这时的居民地形状只能用其整个外围轮廓来表示，成了无街区居民地。正确表示大、中城市外围轮廓对飞行判断目标有重要作用。随着比例尺的缩小居民地轮廓图形面积越来越小，从1：50万比例尺开始，在无法表示其内部结构时，大中城市需概括整个外围轮廓，而小型居民地的轮廓本身已失去作用，其地标作用靠与周围要素（海、河、道路等）的位置关系来体现，这时就可用圈形符号表示居民地。

独立地物既有作为地标确定方位的作用，又对航行安全影响有警示作用。航空图上表示地面的独立地物，如高烟囱、水塔、高层楼房、油气井、宝塔、油库等。

2. 航空图上道路的表示

在航空图上应采用恰当的线号尺寸和颜色正确表示道路等级、位置、形状，以及与其他要素的关系。作为线状目标，应强调铁路、公路的交叉、急转弯等特征。

道路的选取一般按道路的等级和道路的主要特征来进行。保证等级高的，通向车站、机场、港口、码头、渡口、山隘、水源、工矿区、工农区、独立物、环保和动物保护特区的等重要道路的入选。

在航空图上，道路形状的概括比较大，只能保持形状的基本特征。概括道路形状的目的，是在地图上反映出道路形状的主要特征，尽可能保持道路的正确位置，以及保持道路同水系、居民地、地貌等要素相应关系的正确。

航空图上主要表示：复线铁路、单轨铁路、窄轨铁路、建筑中的铁路、车站、隧道、桥梁；高速公路、主要公路、国外主要公路、公路及隧道、一般公路及桥梁、建筑中的公路；其他道路；能通行汽车的大堤等。

3. 航空图上境界与管线的表示

(1) 境界的表示

境界是政治、行政区划的界线，它在实地上是无形的，虽然在领航上不能作为线状地标使用，但它有特殊的意义，尤其是国界，直接关系到国家领土主权和国际关系，对领航来说，国界是飞行的“禁越线”，又是飞行安全的重要保证。为此，编绘国界时，必须严格按照有关规定表示。

必须正确表示中国国界线与地貌、地物、经纬线、色带等要素之间的关系，正确标注国界线附近的地理名称。准确反映我国领土范围，特别注意东边的黑龙江与乌苏里江交汇处，西边的喷赤河南北流向的河段，北边的黑龙江最北江段，南边的曾母暗沙及南海诸岛、澎湖列岛、钓鱼岛、赤尾岛、彭佳屿、兰屿、绿岛等岛屿。如果由于制图资料的关系，造成国界位置的几何精度不够准确时，在描绘国界符号基础上，加注“草绘”说明注记，要求其起止点的位置准确。

另外，位于国界上和国界两侧图上宽度各在规定范围内的居民地、道路、山峰、山隘、河流、岛屿及沙洲等均应详细表示。为了明确其隶属关系，名称注记注在各自一方，并不得压盖国界符号。

(2) 管线和长城的表示

过江高架电线必须表示；图上长 16mm 的围墙应予表示；防护堤比高 3m 以上，图上长于 2cm（1∶50 万）和图上长于 3cm（1∶100 万）的予以表示。长城必须表示，长城中破坏部分应加说明注记“破”字，若图上用城墙符号表示成吉

思汗边墙，应加注“成吉思汗墙”。油气管道只表示露出地面部分，并优先选取远距离的输送港口及城市的管道，其余的可择要选取。概括管线形状时，应保持明显转角特征点，删除细小的弯曲。并注意：正确地保持管线和长城的中心位置，并顾及与其他要素之间的相关位置；管线和长城与其他要素相交时，一般可直接通过；管线与河流、运河、渠道及道路并行走向靠得很近时，应稍微移动管线位置，它们之间的图上距离应保持规定的 0.2mm 最小尺寸。

（五）航空要素的表示

航空要素是从事航空活动所专用的保障设施及文字、数据和图解资料等。它是航空图特有的内容，也是航空图鲜明的特点。航空要素的表示，对保障沿着预定航线准确飞行和安全着陆有重要的意义。在图上表示航空要素时，要求选取内容规范，符号定位精确，相关位置正确，图面清晰醒目。

1. *机场及表示方法*

机场是供飞机起飞、着陆、停放和组织、保障飞行活动的场所，包括飞行场地和各种保障设施。航空图上表示的机场有一级机场、二级机场、三级机场、国外主要机场、国外小机场、水上机场等。

一级机场是供中型轰炸机和中型运输机使用的机场。在海拔 300m、最热月平均最高气温 30℃条件下，跑道长度 2500～2800m，铺筑相应承载能力的跑道面（一般是水泥材料），设有完善的保障设施的机场。跑道长度在 3000m 以上，供重型轰炸机和大型运输机使用的特级机场，并入一级机场表示。

二级机场是供歼击机、强击机、轻型轰炸机和中型涡轮螺旋桨运输机使用的机场。在海拔 300m、最热月平均最高气温 30℃条件下，跑道长度 2000～2400m，铺筑相应承载能力的跑道面，设有完善的保障设施的机场。

三级机场是供初级教练机和小型运输机使用的机场。一般为半径 1000m 的圆形土质机场，或附有长 1000m 以上的混凝土、沥青、碎石等简易跑道，设有较完善的保障设施。

国外主要机场是指跑道长 2000m、宽 45m 以上，铺设混凝土和沥青的机场。

国外小机场是指跑道长 2000m、宽 45m 以下，铺设碎石或钢板的机场。

水上机场是供装有支撑浮筒或水橇的水上飞机起飞、降落、停靠、系留的专设水域。

国内陆地机场和国外主要机场一般均应表示；国外小机场可择要表示。水上机场在不影响图上主要地标的情况下，应尽量表示。机场是以圈形符号并结合跑道方向和机场等级表示，其符号绘在跑道中心位置上。

国内机场表示机场位置、机场等级及主跑道的真方向。

机场等级应根据有关部门提供的机场资料或者仪表进近图资料确定；无机场

资料时，可按底图表示。图上应注出机场名称及机场标高。

在机场较多地区可进行取舍。舍去的顺序是：修建中的、废弃的、情况不明的、位置邻近的、关闭的、不公开的、紧急着陆的、限制的和直升飞机场。若表示以上机场时，在机场符号旁应加注性质说明如“限制的”。选取的机场，当具有两条以上跑道时，应选其主要跑道表示。表示跑道方向时，必须保持与实地一致。如果机场及跑道分别用圆点和短线分开表示时，跑道方向按实地绘出，在比例尺等于或小于 1∶100 万的航空图上，跑道短线放大按 1∶50 万比例尺绘出。

在普通航空图上，机场只需注出机场名称和机场标高（高程）；跑道要注出跑道磁方向。当跑道方向区分有单向和双向时，单向要注明，在磁方向值后括注“单”字；双向由于相差 180°，只需注出小于 180°的磁方向值。

2. 障碍物

机场障碍物是指以机场为中心 50km 范围内，一般比高在 65m 以上，对飞行安全有潜在危险的自然物体或人工建筑物。障碍物可分为：顶端有灯光和顶端无灯光的两种，分别用有灯光符号和无灯光符号予以表示。

国内机场障碍物可根据仪表进近图或机场障碍物资料，择高、择要表示。但比高在 65m 以上的必须选取。一般应注出比高（以邻近机场为起点计算的高度），及顶端标高（高程）。当图上机场障碍物之间的距离很近，又不能同时绘出时，应择高表示（或用障碍物群符号表示）。对性质明确的应在其符号旁加注说明注记，如“水塔”。垂直障碍物应择高大的表示，特别是突出的广播电视塔应全部表示，并注明其性质。

3. 靶场

轰炸靶场是供航空兵训练投弹和地靶射击的场地。通常设有指挥所、观察所、导航台、靶标、灯光标志等。靶场在图上面积大于规定的面积时，按依比例表示；小于规定的面积时，用不依比例符号表示。但应注出其名称和标高（高程）注记。

4. 无线电导航设备

无线电导航设备（导航台、站）是遂行导航任务的设备总称。航路上固定的导航台和机场导航台，一般功率都比较大，是重要的导航设备，均应表示；机场跑道两端的导航台主要用于引导飞机着陆，可不表示，如需要表示时，应优先表示远台，当无远台时，才表示近台。表示导航台时，一般应按实际位置精确绘出。当近台离机场很近，其符号压盖机场中心时，可沿着机场跑道的延长线适当向外移动，直至不压盖机场中心位置为止。除机场两端的导航台外，其余的均应注出其名称、性质、呼号（特征信号）和频率注记。无方向性无线电信标台注“NDB”，甚高频全向无线电信标台注“VOR”。

5. 助航灯塔

灯塔是指位置固定，其发光易于识别，在夜间或能见度低的情况下，对飞行能起导航或地标作用的灯光装置。助航灯塔有航空灯塔和航海灯塔。前者必须表示；后者应按其灯质和所处位置择要选取，具有下列条件之一者，必须选取：位于海岸线明显弯曲处、岬角处及海上孤立的灯塔或灯船；灯光射程在 28km（15 海里）以上的；灯塔高在 10m 以上的。

航海灯塔和灯船中，对领海有识别标志的内容，如灯光发光状态、灯光周期、灯质和颜色等，应在其符号旁加注简要说明。

6. 特殊空域

特殊空域有禁区、限制区、危险区、注意区和空中走廊等，是指国家在其所在领土、领海上空划定的各种空域。

空中禁区是禁止航空器飞行的空间。为了安全和保密的需要，通常在政治经济中心、工业基地、军事要地和港口等重要的地区或海区上空划定。

限制区是限制航空器只能在规定条件下飞行的空域。通常从时间、高度、距离（侧向距离）等方面加以限制。主要用于解决训练飞行与航路（航线）飞行之间的矛盾。

危险区是指在某一时间内对航空器飞行有危险的空域，如空域内有气球，伞降，科研试飞，地对空、空对地武器发射或投掷等。

空中走廊是为航空器进出某地区上空而划定的具有一定宽度（不窄于 8km）的通道。按国际协定或由本国根据情况划定，目的是限制飞行范围，便于飞行管制，维护飞行秩序，保证飞行安全。特殊空域在图上按照图式规定分别用相应符号表示出其范围。根据有关资料转绘时，作为范围的控制点和明显的转折点必须准确，并在其范围内注出性质和编号，例如“禁 4”。

7. 磁差及年变率

磁差资料主要来自《地磁偏角图》、《中国地磁图》、《世界地磁图》、《磁差年变率等值线图》。使用时，首先了解测定出版时间最新的予以选择，有利于用图；其次，虽然同是最新的，但应尽量选择等于或接近于新编航空图比例尺，有利于转绘。

（1）等磁差线的转绘

等磁差线间隔（即等磁差线距离）一般取决于航空图比例尺的大小和所处纬度带的高低。也就是说，在较大比例尺（如 1∶50 万）和图幅位于中、低纬度地区，等磁差线间隔小；较小比例尺（如 1∶200 万）和图幅位于高纬度地区，等磁差线间隔大。

等磁差线的转绘通常采用方格法。根据新编航空图比例尺的大小，以图上绘出最小经纬线网格（15′，30′或 1°）为基础，再进行加密小格（5′，10′或 20′）

以便于作为转绘控制，并结合比例规或计算机进行。转绘时，首先确定等磁差线与有关加密小格边线交点作为控制点。然后按等值控制点连成线，并顾及圆滑或平缓形状的特征。

(2) 磁力异常

根据范围的大小，分为磁力异常点及磁力异常区。前者以符号表示，并注出磁差变化值，精度达 0.1°（即 6′）；后者以依比例表示，用虚线绘出其范围线，并注出磁差变化幅度，精度达 1°。磁力异常点（区）转绘的方法与等磁差线转绘方法相同，也是采用方格法并结合比例规或计算机进行转绘。磁力异常点以经纬线网格加密相应小格作为控制，按点的中心位置精确绘出；磁力异常区的范围线，以经纬线网格加密相应小格边线交点作为控制点，然后按控制点连成其范围线。

(3) 磁差年变率

磁差年变率一般是以图幅为单位计算，取其平均值（即图幅中央附近磁差年变率值），精度达 0.1′（6″），并在图例处注明，增加用“+”号，减少用“−”号。磁差年变率应根据《磁差年变率等值线图》，通常采用图解内插法或者平均中数法来求得磁差年变率值。

第四篇　地图内容的制图综合

第十二章　制图综合的基本理论

第一节　制图综合的基本概念

制图综合是地图制图过程中必不可少的创造性劳动，因为地图作为实际地物的模型，其本身就是经过对客观现实的抽象、概括和模型化产生的，而且从较大比例尺地图到较小比例尺地图与从实际地物到地图一样，也必须进行地图制图综合。也就是说，只要制作地图，就必须进行制图综合。

一、为什么要进行制图综合

地图制图工作者在对客观存在的特征和变化规律进行科学抽象的过程中通常采用两种方法：一是运用思维能力对客观存在进行简化和概括（地图模型化）；二是采用专门的地图符号和图形，按一定形式组合起来描述客观存在（地图符号化）。它们都包含着作者的主观因素，因为任何地图都是在人对客观环境认识的基础上制作的。任何客体都有数不清的特征，有无数个层次，许多因素交织在一起，大量的表面现象掩盖着必然性的规律和本质。地图作者必须进行思维加工，抽取地面要素和现象的内在的、本质的特征与联系并符号化——这就是制图综合，是制作地图不可缺少的思维过程。

制图综合不仅仅表现在将实地复杂的客观存在抽象概括为缩小、简化了的地图模型的过程中，而且还表现在将较大比例尺地图转换为较小比例尺地图的过程中。这就是说，利用较大比例尺地图编绘较小比例尺地图时，必须从资料图上选取一部分与地图用途有关的内容，以概括的分类分级代替资料图上详细的分类分级，并化简被选取的物体的图形。在数字地图条件下，对于单纯的地图数据的综合，制图综合就是要用有效的算法、最大的数据压缩量、最小的存储空间来降低内容的复杂性，保持数据的空间精度、属性精度、逻辑一致性和规则适用的连贯性。当然无论是模拟制图还是数字制图，制图综合都会造成地图内容的详细性和客观实体的几何精确性的降低，而且比例尺越小地图内容越概略，地物的精度相

对越低；反之，地图比例尺越大，地图内容越详细，地物的精度越高。这是必然的，也是必需的。因为选取能根据研究对象的共同特征和性质，从整体中有目的地减少一些多余的信息，使地图内容仅限于表示必要的制图现象和地物；化简能有目的地减少一些碎部和局部，保持研究对象最本质的特征。这些都有助于我们更深入地研究所反映的客观实际的各个方面。这也是制图综合的本质所在。

用制图综合方法解决缩小、简化了的地图模型与实地复杂的现实之间的矛盾，实现资料地图内容到新编地图内容之间的转换，就是要实现地图内容的详细性与清晰性的对立统一和几何精确性与地理适应性的对立统一。

既详细又清晰，是我们对地图的基本要求之一。理想情况下，我们能够把地面上的物体全部表示到地图上，或者将较大比例尺地图上的一切碎部全部表示到较小比例尺地图上。可是，实际上这是难于做到的，硬性表示势必使地图不清晰，甚至无法阅读，这样的详细性也就失去意义了。所以，详细性与清晰性是矛盾的两个方面。但是，也必须看到，详细性与清晰性都不是绝对的，而是相对的。在地图用途和比例尺一定的条件下，详细性与清晰性是能够统一的。因为我们所要求的详细性，是在比例尺允许的条件下，尽可能多地表示一些内容；而我们所要求的清晰性，则是在满足用途要求的前提下，做到层次分明、清晰易读。所以，详细性与清晰性统一的条件就是地图用途和比例尺，统一的方法就是制图综合。

几何精确性与地理适应性的对立统一，也是对地图的基本要求之一。地图的几何精确性，指地图上要素的点位坐标的准确程度，随着地图比例尺的缩小，由于制图综合方法的运用等原因，地图的几何精确性相对降低。地理适应性，指地图上用图形符号所反映的地面要素（现象）空间分布及其相互关系与实地的相似程度，即地图模型与实地之间的相似程度。在大比例尺地图上，地图要素位置的高精度，准确地保持了地理适应性；随着比例尺的缩小，图形符号之间的间隔越来越小，甚至互相压盖，要素间的相互关系不清楚，这时就必须采用制图综合特别是其中的位移方法，来保持要素间相互关系的正确性，即地理适应性。所以，在大比例尺地图上，强调的是几何精确性，保持了几何精确性，就保持了地理适应性，这就是在保持几何精确性前提下的几何精确性与地理适应性的对立统一；在小比例尺地图上，强调的是地理适应性，保持主要地物的几何精确性而移动次要地物的位置，才能保持地理适应性，这也是几何精确性与地理适应性的对立统一。

在地图用途、比例尺和制图区域地理特点一定的条件下，缩小、简化了的地图模型与实地复杂的现实之间的矛盾得到了暂时的解决，而条件一经改变，就会产生新的矛盾，就要研究新条件下的制图综合理论和方法，这种矛盾对立统一的过程，推动了制图综合理论和方法的发展。

二、什么是制图综合

根据以上制图综合的内容和特征，可以给制图综合下这样的定义：制图综合是在地图用途、比例尺和制图区域地理特点等条件下，通过对地图内容的选取、化简、概括和关系协调，建立能反映区域地理规律和特点的新的地图模型的一种制图方法（王家耀等，1992)。从上述制图综合的定义不难看出，制图综合是地图制图的一种科学方法，是一项创造性的劳动。它的科学性在于制图综合具有科学的认识论和方法论特点，要求制图人员对制图对象的认识和在地图上再现它们的方法都必须是正确的。只有这样，地图才能起到揭示区域地理环境各要素的地理分布及其相互联系与制约的规律性的作用。它的创造性在于编制任何一幅地图都并非各种制图资料的堆积，也不是照相式的机械取舍，需要制图人员的智慧、经验和判断力，运用有关科学知识进行抽象思维活动。

关于什么是制图综合的问题，不同时期有不同的说法，这里列举几种有代表性的加以说明。《地图制图学概论》（萨里谢夫，1976）认为，制图综合是为了在地图上只保持实际或理论上的重要现象，集中注意力于较重要的有决定意义的特点和典型特征的表达，以便能在地图上区别主次，找出同一类地物的共性等，也就是说制图综合是抽象和认识的工具。制图综合能赋予地图以新的质量。《制图综合》（费·特普费尔，1982）认为，在地图制图中，图形和内容的化简与合并、选取和强调主要内容，舍去和压缩次要内容等方式，均可理解为制图综合，利用综合措施可将有差别、详细的地面情况概括地表示到地图上。制图综合措施的种类和适用范围，视地图的用途和比例尺而定。《测绘词典》（测绘辞典编辑委员会，1981）认为，制图综合就是在有限的面积上表示出制图区域的基本特征和制图现象的主要特点，通常表现为对制图现象的选取、形状化简及制图现象的数量和质量概括。《地图编制》（王家耀，1984）认为，制图综合是在地图用途和比例尺条件下，通过对地图内容的选取、化简和概括，建立新的地面要素组成及其地理分布和相互联系的地图表象的一种制图方法。《中国大百科全书》（测绘学分册，1985）认为，制图综合是在编制地图过程中，根据编图的目的，对编图资料和制图对象进行选取和概括，用以反映制图对象的基本特征和典型特点及其内在联系的方法。《军事百科全书》（军事测绘分册，1991）认为，制图综合是在地图制作过程中，对制图对象（地理环境综合体）进行选取和概括，以反映制图区域的基本特征及其内在联系的理论和方法。《数字地图自动综合原理与方法》（王家耀等，1993）认为，自动地图综合是在数字地图环境下，根据地图用途、地图比例尺和制图区域地理特点的要求，由计算机通过编程的模型、算法和规则等，对数字化了的制图要素与现象进行选取、化简、概括和移位等操作的数据处理方法。

上述对制图综合的定义，在说法上略有不同，但实质上都反映了制图综合的本质，即以缩小的地图图形（地图数据）来反映客观实体时，都必须对客观实体（现象）进行抽象概括——制图综合。这个过程受到地图用途、比例尺、制图区域特点、空间数据质量、符号尺寸等多种因素的影响。必须对地图或数据内容进行选取、质量和数量概括、图形关系处理，最终突出制图对象的类型特征，抽象出基本规律，更好地运用地图图形向读者传递空间地理环境信息。另外随着地理信息系统环境下制图综合应用领域的拓展，制图综合不再仅仅局限于为适应比例尺缩小后的图形表达的概念，而且还包括基于地图数据库的数据集成、数据表达、数据分析和数据库派生的数据综合（如属性数据和几何数据的抽象概括和表达），更侧重 GIS 环境下空间数据的多尺度表达和显示问题。因此，随着制图综合研究的进一步深入，在理论和技术上将会对制图综合概念的理解产生新的变化。

三、数字环境下制图综合概念的变化

数字环境下的制图综合，一方面沿用了传统制图综合的含义，但又不局限于仅仅对地图要素进行选取、化简和关系处理。也就是说，这种对复杂现象的抽象、简化的内容和方法发生了变化。制图综合已由可视化的地图图形的处理拓展为用数字化方式描述地理要素（现象）空间分布和相互关系的数据处理，目的是根据需求，获取相应比例尺或分辨率的地理空间信息的主要的、本质的特征，进行空间分析或可视化显示。这就是地理信息的综合。

地理信息综合就是对空间数据库中的地理实体（图形、属性）信息和它们之间的关系信息进行抽象与概括处理，实质是对空间数据库的综合。而地物图形再现则是对已综合了的空间数据库中的地理物体按给定比例尺和图式符号进行图形表示。显然，如果要显示图形或输出图形，在进行地理信息综合时就要及时地考虑到所要采用的图式符号系统。

实际上地理信息综合与地物图形综合是有顺序的，即先要做信息抽象概括，然后再进行图形表达。但是在传统制图综合时，这种顺序是不明显的。当物体选取后，在新比例尺条件下的图形简化与表示、冲突探测与处理等多种操作，几乎是同时完成的。而在数字地图环境下，数据与图形的分离，不仅使得综合过程的顺序明显，而且制图综合的内容和方法也发生了变化。

（一）制图综合内容的变化

地理空间数据库的出现改变了制图综合必须在可视化条件下实现的局限，分析工作可以在数据层进行。结果可以表达在地图上，也可以是表格、文字、或者决策结论。因此数字条件下制图综合更侧重于基于地图数据库的数据集成、数据

表达、数据分析和数据库派生的数据综合及 GIS 环境下空间数据的多尺度表达和显示问题，并且作用于地理空间信息的采集、集成、存储、传输、分析、显示的整个过程。

1. 数据集成的综合

在地理空间数据集成中，数据来源的多样性需要对不同精度、不同结构、不同属性类别、级别的数据实行综合处理（集成与融合）。例如数字地球、网格全球化中多种数据的集成融合处理中，遥感影像是信息获取的重要信息源。目前高分辨率的卫星影像已达厘米级，人们希望直接对高分辨率遥感影像进行信息处理，提取不同细节的地理信息，生成多尺度数据和可视产品，满足 GIS 空间分析和专题制图的需要。其中信息综合是一种很重要的技术。

2. 数据表达的综合

数字环境下地图内容的多尺度表达是指基于一个大比例尺数据库，根据不同的需求，地理信息内容随着比例尺或分辨率的变化而变化，使地理信息的增减与比例尺或分辨率相适应。数字环境下地图内容的多尺度表达不仅包括显示内容数量上的层次性，还应该包括图形要素轮廓表达的层次性及支持显示算法的实时性、有效性和快捷性。从这点来看，它与图形认知理论要求对可视化图形、图像实施概括与简化的要求是一致的。因此，数字环境下地图数据多尺度表达，实质上是一种空间数据的实时综合。即“在线综合”（on-the-line），对算法和交互过程中的实时响应有很高的要求。

3. 数据分析的综合

进行 GIS 地理空间分析及辅助决策时，人们往往需要从多层次、多方面、多视点来考虑相关问题，希望地理数据的分析总是针对一定的空间尺度和一定的空间等级进行的，即在最容易表达和理解空间过程的尺度下来处理专业问题，此时他们需要不同综合程度的地理信息模型。而跨越多种比例尺数据库，进行数据的提取和应用，就需要不同详细程度的变换和数据综合，并通过数据挖掘技术探求规律发现新知识，这是数据综合的新方法。

4. 数据库的综合

目前地图模式识别技术，还无法实现全自动扫描矢量化。建立地图数据库仍是一个庞大的工程。因此，由大比例尺数据库派生小比例尺数据库仍然是地图数据库应用的一个重要方面。数据库综合与图形综合的主要区别在于，数据库的综合实质上是模型的综合，就是降低原始数据库的复杂性，形成新的概念数据模型。数据库综合的方法是利用数据库作为数据源，采用选取、合并、化简等综合方法，产生派生的数据库。综合目的是减少数据量，突出地理目标的结构和相互间关系，以提高数据分析的效率。

5. 信息传输的综合

目前，模拟地图仍是一种常用的地图产品形式。当数据输出的比例尺小于数据采集的比例尺时，只有经过综合才能以清晰的形式传输复杂的分析结果，保证输出地图的质量，满足可视化的要求。而数据传输（包括图像传输）受带宽等的影响要进行数据压缩。其中内容压缩就是一种空间信息的综合。

6. 视觉阅读的综合

人的视觉信息获取机制是概括和拓扑的，要求我们将那些多余的细节去掉而保留，甚至强调那些与研究目的有关的主要内容。数字环境下地图的制作过程与阅读过程是融为一体的，阅读中的视觉 LOD 是可交互的、动态的。此时地图的显示强调的是图面的清晰性、实时性、快捷性等。就是要建立缩放率与要素（要素细节）的对应模型。这也是数字环境下地图阅读中的视觉 LOD 问题。目前一般采用地图面积载负量和心理物理学的实验相结合的方法来控制阅读中的视觉 LOD。随着研究的深入和需求的不断增强，有可能通过建立不同要素层及同一要素层之间的视觉载负量的计算公式来较好地解决这一问题。

（二）制图综合模式和方法的变化

制图综合需要通过不同的操作来完成。传统的制图综合包括选取、化简、概括和位移四个主要过程。在数字制图条件下，必须将制图综合的过程转化为机器可执行的基本模式，或称为“综合算子”来完成制图综合的全过程。

由于对综合过程分解的方式不同，就产生了不同的综合模式。最常见的有三算子模式（选取、概括、位移）和四算子模式（选取、概括、合并、位移）；G. Hake 提出七算子模式（几何综合——简化、夸大、位移，和几何/概念综合——选取、合并、类型化、强调）；以及 W. A. Mackaness 的二十算子模式（简化、光滑、选择性组合、选择性舍弃、合并、提炼、增强、移位、掩蔽、面到线压缩、缩略、图形联合、面到点转换、聚合、分类融合、再选取、改变比例尺、混合、符号化、夸大）等。不同的综合需求可以采用不同的算子来完成，包括几何和概念的综合。

另外由于算子的多样性，特别是把不同性质的操作混在一起，这又增加了选择综合算子的难度。因此，提出了将算子归为两类，信息变换类算子和图形再现类算子，明确了算子的分工（毋河海，2004）。

算子的选择表明空间数据的“制图综合”已不限于地图的制作，几乎面对需要综合的所有空间数据处理任务（高俊，2004）。

面对全球信息网格化的新任务，综合将不得不向智能化方向寻求出路。制图综合的智能化、地理空间数据处理任务的复杂化，要求人们寻求更好的方法来解决综合问题。目前自动综合中面向信息的综合方法、神经元网络综合方法、面向

滤波的综合、分形学方法、启发式综合方法、小波分析方法、专家系统综合方法、人机智能交互式方法等，在一定程度上都为制图综合问题的解决提供了有效的途径。

（三）制图综合中比例尺概念的变化

在传统制图中，比例尺是地图的数学基础之一，当地图的用途确定之后，地图比例尺是地图精度和内容详细程度的决定因素。尤其在制图综合中，地图比例尺是一个关键要素，它决定地图上所能包含的信息的极限量与它所能描述现实的详细程度。当地图的比例尺缩小后，原始地图上的要素由于地图空间有限而不能完全表现在新的小比例尺地图上，此时地图内容的选取、要素图形的化简和地图质量都与比例尺密切相关。在数字地图的多尺度表达中比例尺的概念已经淡化，因为很难计算出数字地图显示的比例尺，通常所说的数字地图的比例尺指的是数字地图所采用的数据源的比例尺，此时比例尺主要表明地图数据的精度。也就是说无论多大比例尺的地图数据都可以显示在屏幕上，而地图的详细程度取决于数据源所能提供的详细程度。由于在计算机或地图数据库里可以存储客观实体的实际长度、面积、体积等数据，根据需要可以方便地按任意比例缩小或放大这些数据，这样比例尺就失去了原有的控制作用，而衡量地图的详略和所容纳地图要素的数量的是图形的缩放率。因此，在数字地图的多尺度表达中不存在目标比例尺。但这并不是说数字地图不需要考虑比例尺，因为数字地图的精度、详细程度及基于数字地图分析的结果的可靠性等，都依赖于数据源的比例尺，同时数字地图输出时也要涉及地图比例尺。所以，应该注意的是数字地图比例尺的变化，并不影响地图本身比例尺的特征。

目前，在建立 GIS 底层数据库时，或在建立地理空间信息栅格（GIG）时，受经费、能力、用户要求等条件的限制，仍然要考虑比例尺或称“分辨率”的影响。另外，基于目前自动综合的技术还不能满足实际 GIS 和地图制作的要求，大多数国家，仍是按多级比例尺建库，用相应的软件实现多比例尺层次间数据的“无级”过渡。随着自动综合技术的发展和完善，比较好的模式是建立底层数据库后用数据自动综合的方法实现同一数据库的多分辨率表示。

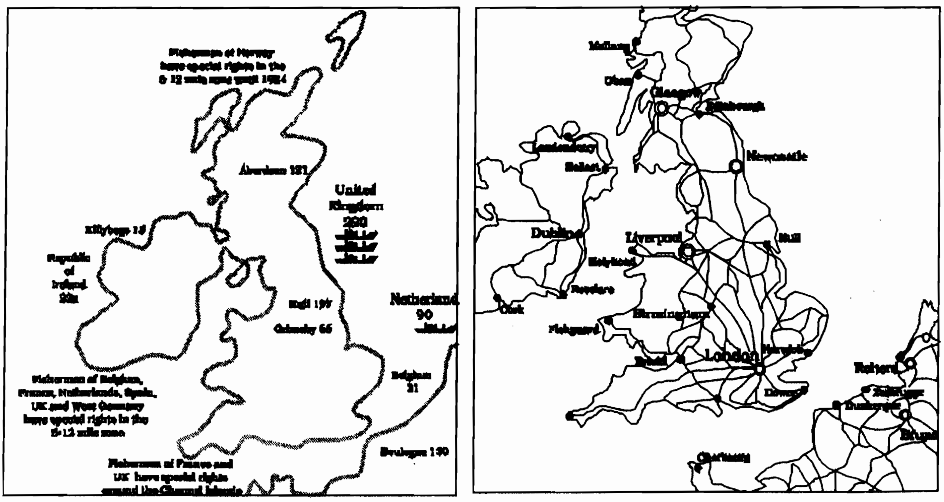
第二节　制图综合应顾及的因素

一、地图用途

满足地图用途要求是制图的根本宗旨，是编图时运用制图综合方法首先要考虑的条件，也称目的综合。在整个制图综合过程中起主导作用，决定制图综合的

方向和倾向。它作用于制图综合的全过程，包括制图综合的编辑过程和编绘过程。在编辑过程中，确定地图的主题，制定制图综合细则等，都要考虑地图的用途要求。离开了服务与地图用途这个根本宗旨，制图综合的编辑过程是肯定做不好的。地图用途在编绘过程中的作用很容易被忽视，不少人认为制图综合的编绘过程是根据制图综合细则进行的，是执行地图编辑的意图，因此可以不必研究地图的用途要求。实际上，制图综合编绘过程中的分析、评价、判断和实施，最终都是以地图的用途要求为依据的。

编制任何一幅地图，从确定地图内容的主题、重点及其表示方法到编图时选取、化简、概括地图内容的倾向和程度，都受到地图用途的制约。例如我们常见的同一地区、同比例尺的政区图和地势图、地形图和航空图由于用途不同，则制图综合时选取的内容、表达的重点是不同的。政区图为了突出反映各个地区行政区划的分布范围界限，所以重点表示境界和行政区划，一般采用分区设色的方法强调区划的概念，其他要素基本不表示；而地势图为了突出反映地形的起伏状态，在等高线或 DTM 数据的基础上采用分层设色加晕渲的方法强调表示地貌要素，其他要素概略表示或基本不表示。如图 12.1 所示的同一地区、同比例尺的不同用途的地图。图 12.1（a）是渔船捕鱼的分布图，主要表示捕鱼的港口、捕鱼量、渔船数、渔船载重量及捕鱼的限制区域，其他要素不表示；图 12.1（b）是该地区的交通图，主要表示道路和大的居民地，其他要素不表示。两种图表示的要素截然不同。



(a)捕鱼分布图　　　　(b)交通图

图 12.1　同一地区不同用途的地图

地图用途对制图综合的影响不仅表现在不同用途的地图上，有时还表现在同

一幅地图上，由于我们关心的主题和重点不一样，制图综合的程度也不一样。例如在《中国全图》上，主题区域（国内部分）的居民地和道路表示得非常详细，而非主题区域（国外部分）则表示得非常概略。因此，地图用途作用于编图的全过程，从确定地图内容的主题、重点及其表示方法到编图时选取、化简、概括地图内容的倾向和程度等，都受到地图用途的影响。

二、地图比例尺

地图比例尺是编图时运用制图综合方法必须考虑的一个重要条件，也称比例综合。地图比例尺标志地图对地面的缩小程度（如图 12.2 所示），直接影响地图内容表示的可能性，即选取、化简和概括地图内容的详细程度；决定了地图表达的空间范围，影响对制图物体（现象）重要性的评价；决定了地图的几何精度，影响要素相互关系处理的难度。以青岛市在 1∶5 万、1∶10 万、1∶25 万、1∶50 万和 1∶100 万比例尺地图上的表示为例：在 1∶5 万地图上，可以详细而准确地表示居民地内部的主次街道及其与外围道路的联系，着重表示建筑物的轮廓图形特征，详细地反映了经济、文化标志和突出建筑物；随着比例尺缩小，在 1∶10万图上，只能着重表示街区规划特点和街网的几何图形特征，保持主要道路及其交叉口的准确位置，反映居民地内部通行状况，主要街道过密时可以降级表示，选取居民地内部的主要方位物；在 1∶25 万地图上，着重进行街区的合并，显示街道网平面图形的主要结构特征，选取突出的、重要的方位物；在 1∶50万地图上，街区大量合并，只能表示一些主要街道；在 1∶100 万地图上，则只能显示其总的轮廓，如图 12.3 所示。

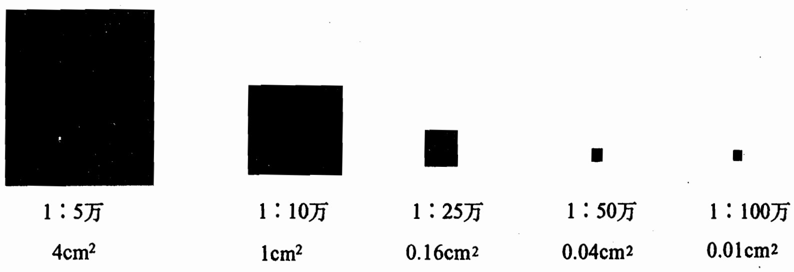


图 12.2　实地 1km² 在不同比例尺图上所占面积

另外不同国家的地图，内容的表示方法虽有所不同，但随着比例尺的变化，对内容表示的细节都将发生变化。如图 12.4 所示，国外某地区居民地在不同比例尺图上的变化情况，从 1∶1 万的详细表示变化到 1∶50 万图上用圈形符号表示。

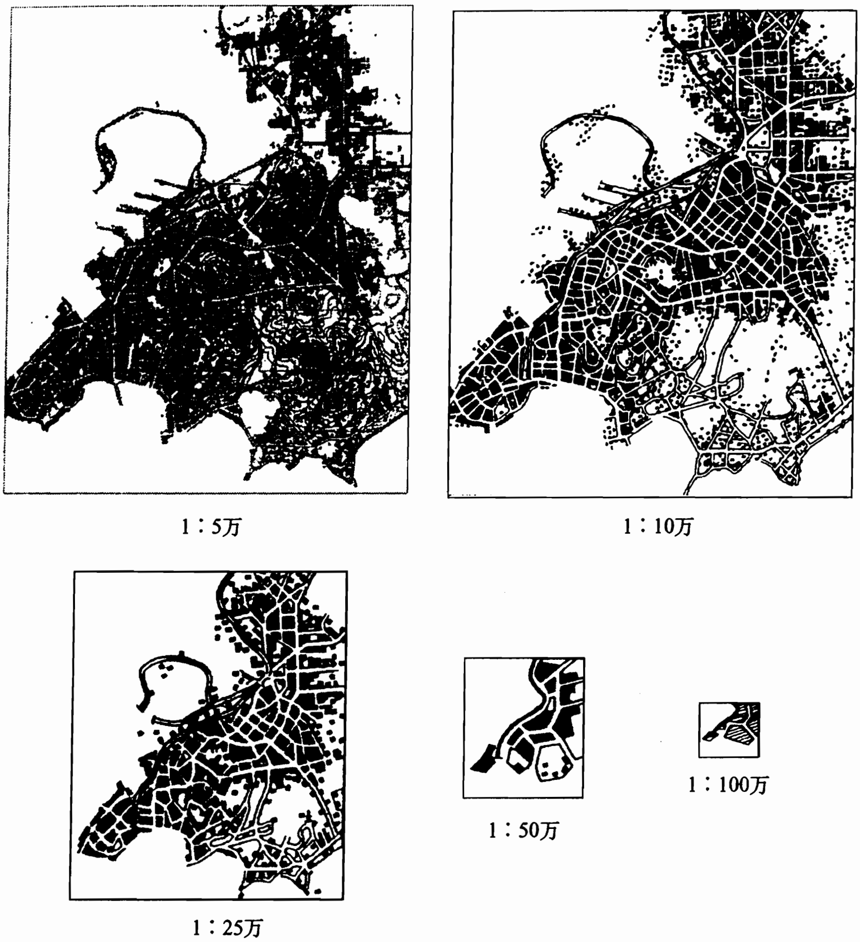
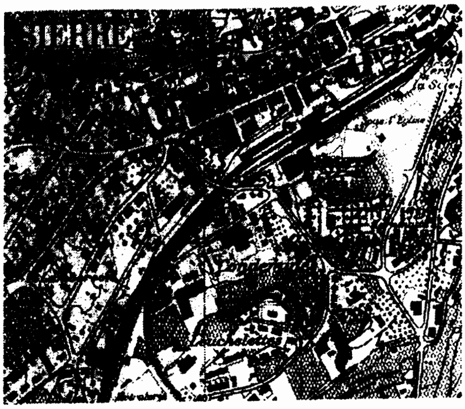


图 12.3　不同比例尺图上青岛市的表示

三、制图区域特点

制图区域地理特点作为制图综合的条件之一，意味着制图综合原则和方法都必须和具体的地理特点结合起来，是决定制图综合的客观依据，也称景观综合。制图区域地理特点的客观性，要求经过制图综合的地图模型具有与实际事物（区域特点）的相似性。因此，一切选取、化简和概括方法的运用，制图综合各种数字指标的确定，对制图物体（现象）重要性的评价等，都受到制图区域地理特点的制约。

制图区域的地理特点是客观存在的。由于各种条件的差异，不同制图区域其地面要素的组成、地理分布及其相互联系与制约的规律性是有差别的。例如，我国江浙水网区，地面要素主要是纵横交错而密集的河流、沟渠和分散式居民地，



1∶1万



1∶2.5万



1∶5万



1∶10万



1∶20万



1∶50万

图 12.4　不同比例尺图上居民地的表示（瑞士地形图）

且后者沿前者分布排列，在总体上有明显的方向性，如图 12.5 所示。而在西北干旱区，组成地面要素的基础是沙漠、戈壁滩，居民地循水源分布的规律十分明显，水的存在及其利用在很大程度上制约着居民地的分布，居民地通常沿水源丰富的洪积扇边缘，河流、沟渠、湖泊沿岸，或沿井、泉周围分布，如图 12.6 所示。

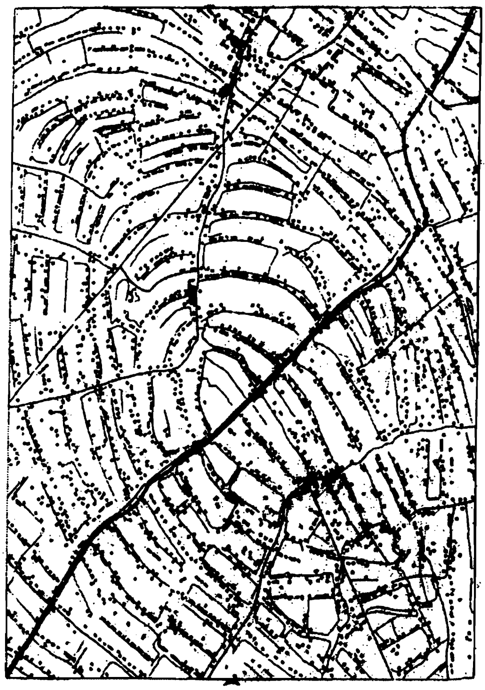


图 12.5　水网区

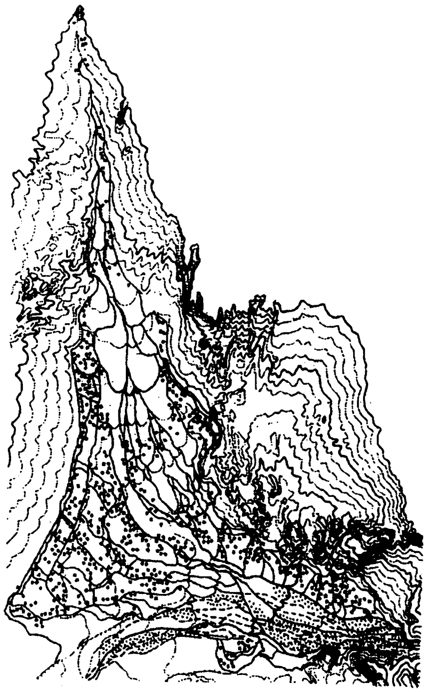


图 12.6　干旱区

总之，一幅地图最终是全面或是从某个侧面反映制图区域地理特点。因此，显示制图区域特点，既是一切制图综合方法的基本出发点，也是一切制图综合方法的基本归宿。制图者必须认真研究制图区域的地理特点，只有这样，才能针对不同区域地理特点的差异，正确运用制图综合方法。

四、地图资料的质量

制图综合是以底图资料（原始数据）为基础的，因此资料质量的好坏直接影响制图综合的质量。编图资料内容的完备性、现实性和精确性，直接影响到地图内容的分类分级的详细和准确程度，影响内容表达的概括程度等。对于空间数据来说，数据的类别（影像数据、图表、文字资料等）、数据采集的精度、数据转换过程的误差等也对制图综合有很大的影响。

五、符号最小尺寸

制图综合的目的就是为了图形显示的需要。在阅读地图时，人眼观察和分辨符号图形的能力受人视觉能力的限制，存在一个恰可察觉差（人眼辨别两种符号差别的最小值）。因此在对物体化简、概括和图形关系处理时，为了突出某些特征点或特殊部位，就必须使其保持有最小的符号尺寸，便于地图的阅读。

六、地图表示方法

受到地图载负量的影响，地图在可视时，不同的表示方法直接影响制图综合时对地图内容表示的详细程度。例如以单色表示的地图就无法像以彩色表示的地图那样表示更多的内容；再如单纯以等高线表示地貌时，等高线表示得非常详细；以等高线加分层设色表示地貌时，等高线就要进行化简；以等高线加分层设色加晕渲表示地貌时，等高线表示的更概略；再到只用晕渲表示地貌时，等高线这个要素就不必表示了。

第三节　制图综合的基本方法

制图综合是通过对地图内容要素的选取、化简、概括和位移四种基本形式进行的。

一、地图内容的选取

选取，是制图综合的最重要和最基本的方法。选取可以是对地图内容而言，也可以是对同类制图物体（现象）而言。对地图内容，制图综合表现为地图内容在制图物体（现象）的种类上的综合，其综合结果是减少地图内容的种类；对同类制图物体（现象），制图综合表现为同类地物数量的综合，其综合结果是减少地物符号的数量。

（一）选取解决的问题

对地图内容的选取主要解决三个问题：选取多少、选取哪些、怎样选取。

第一个问题是选取中的主要问题，因为不解决选取数量问题，地图就不可能有适当的载负量；第二个问题是确定具体选取对象问题，它是选取过程的具体化；第三个问题是选取程序问题，即在选取中应能保证重要地物首先被选取，然后在几乎同等重要的地物之间进行选取。

(二) 选取的基本方法

1. 按分界尺度(最小尺寸)选取

分界尺度是编图时决定制图物体取与舍的数量标准。确定分界尺度的主要依据是地图的用途要求、比例尺和制图区域地理特点。分界尺度的种类包括线性地图分界尺度、面积地图分界尺度、实地分界尺度、线性地图分界尺度与实地分界尺度相配合四种。

1) 按线性地图分界尺度选取。按线性地图分界尺度选取，是利用地物在图上的长度或相邻地物间的距离作为选取地物的尺度标准，一般适用于线状地物的选取。例如河流、冲沟、沟渠、陡岸等都是按线性地图分界尺度选取的。选取的指标如表 12.1 所示。

表 12.1 按线性地图分界尺度的选取指标

地物名称	分界尺度/mm L：长；d：宽；t：深	说明
河流	L=10 d=2	选取图上长 10mm 以上的河流，同时考虑相邻平行河流之间的间隔，当其小于 2mm 时舍去
冲沟	L=3 d=2	选取图上长 3mm 以上的冲沟，并保持最小间隔不小于 2mm
干沟	L=15 d=2	选取图上长 15mm 以上的干沟，并保持最小间隔不小于 2mm
弯曲	d=0.5—0.6 t=0.4	选取宽 0.5～0.6mm 和深 0.4mm 以上的小弯曲
陡岸	L=3	在 1∶10 万比例尺地形图上，长 3mm 以上的陡岸均应表示
消失河段 (伏流)	L=2	在 1∶10 万比例尺地形图上，岩溶地区的伏流河、干旱地区和沼泽地区的消失河段，图上长 2mm 以上的一般应选取
沟渠	L=10	在 1∶10 万比例尺地形图上，凡长度不足 10mm 的一般可以舍去
密集沟渠	D=2—3	沟渠密集时，在保持密度差别的情况下进行取舍，相邻沟渠间的距离不得小于 2～3mm

2) 按面积地图分界尺度选取。按面积地图分界尺度选取，是利用地物在图上的面积作为选取地物的尺度标准。它适用于轮廓线不规则的呈面状分布的地物。例如湖泊、岛屿、土质与植被等都是按面积地图分界尺度选取的。选取指标如表 12.2 所示。

表 12.2　按面积地图分界尺度的选取指标

地物名称	分界尺度/mm^2 p：面积	说　明
湖泊	P=1	选取图上面积大于 $1mm^2$ 的湖泊
岛屿	P=0.5	选取图上面积大于 $0.5mm^2$ 的岛屿
沼泽	P=25	选取图上面积大于 $25mm^2$ 的沼泽
盐碱地	P=100	选取图上面积大于 $100mm^2$ 的盐碱地（1∶10 万）
雪被（或裸露区）	P=2	图上面积大于 $2mm^2$ 的雪被均应表示
森林（幼林）	P=25	图上面积大于 $25mm^2$ 的森林（幼林）一般应选取，小于此尺寸的一般应舍去
林中空地	P=10	面上面积小于 $10mm^2$ 的林中空地一般舍去

3）按实地分界尺度选取。按实地分界尺度选取，是指以地物的实际高度、长度或宽度作为选取地物的尺度标准。一般对于不能确定地图分界尺度或利用地图分界尺度不足以表示其实际意义的地物，采用实地分界尺度。例如梯田、冰塔、桥梁、河宽等都是按实地分界尺度选取的。选取指标如表 12.3 所示。

表 12.3　按实地分界尺度的选取指标

地物名称	实地分界尺度/m H：比高；L：长；d：宽	说　明
梯田	H=2	1∶10 万地形图编绘规范规定，选取实地比高 2m 以上的梯田
冰塔	H=5	1∶25 万地形图编绘规范规定，冰塔比高大于 5m 的应注出比高的注记
桥梁	L=30	1∶25 万地形图编绘规范规定，桥梁长度大于 30m 的应予以表示
河宽	d=50	1∶25 万地形图编绘规范规定，实地河宽大于 50m 的应注出河宽、水深及河底底质

4）按线性地图分界尺度与实地分界尺度相配合选取。按线性地图分界尺度与实地分界尺度相配合选取，是指有些地物的选取，不能只考虑单一的选取标志，既不能只考虑其线性地图分界尺度，也不能只考虑其实地分界尺度。例如铁路、公路上的路堤、路堑选取时必须同时考虑其图上长度和比高。如 1∶5 万图上长 5cm、比高 3m 以上的路堑要选取等。

5）按分界尺度选取的方法。按分界尺度选取的方法，分为按分界尺度“无条件”选取和按分界尺度“有条件”选取两种方法。按分界尺度“无条件”选取，是指大于或等于分界尺度的地物全部选取，小于分界尺度的地物全部舍去。按分界尺度“有条件”选取是指大于或等于分界尺度的地物全部选取后，对小于分界尺度的地物，则根据地图的用途要求和反映制图区域特征的需要，有目的地选取部分小于分界尺度的地物，并按最小尺寸描绘。“条件”是指地物本身所具有的政治、经济意义，该地物所处的地理位置的重要程度，地物的类型，以及分布特征和密度差异等。如图 12.7 所示。

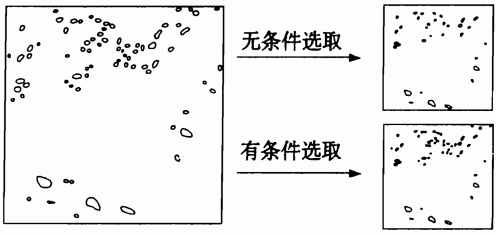


图 12.7　按分界尺度选取实例（样图的一部分）

2. 按定额指标选取

定额指标是指地图上单位面积内选取地物的数量。定额指标可以用回归模型、方根模型等方法来计算。

（1）回归模型方法

制图综合可以采用相关分析和回归分析方法建立地物数量的选取指标。相关分析与回归分析是建立在样本统计数据基础上的。在地图制图中，通过对已出版地图的大量统计分析，可以统计量测得某要素实地（或大比例尺地图上）的一种（以 X 表示）或某两种（以 X_1，X_2 表示）变量数据，同时统计量测得该要素在某种比例尺地图上的一个对应的选取数（以 Y 表示），即 Y 与 X 或 Y 与 X_1，X_2 之间存在着对应关系，而且这种关系并不是唯一的。因此，不能用一般的函数关系来确定，这种非确定的依赖关系可以用统计相关的方法来确定。例如，居民地定额选取的单回归模型为

1∶10 万——1∶20 万

$$Y = 5.77474X^{0.352314} \tag{12-1}$$

1∶20 万——1∶50 万

$$Y = 4.463956X^{0.350280} \tag{12-2}$$

1∶50 万——1∶100 万

$$Y = 16.598540X^{0.539150} \tag{12-3}$$

河流定额选取的复回归模型为

$$1:5\text{万}——1:10\text{万}$$

$$Y = 0.36X^{11} - 0.4X^{20.3} \tag{12-4}$$

（2）方根模型方法

方根模型是建立在经验规律上的一种数学模型，由德国制图学家费·特普费尔（Topfer F）提出，主要用于计算制图物体的选取定额，即利用资料图与新编图的比例尺分母之比的不同方根指数，来确定新编图上制图物体的选取数量指标，又称方根规律。方根模型的基本公式为

$$N_b = N_a \cdot \sqrt{M_a/M_b} \tag{12-5}$$

式中：N_a 为资料图上物体的数量；

N_b 为新编图上物体选取的数量；

M_a 为资料图比例尺分母；

M_b 为新编图比例尺分母。

基本公式的意义在于，只要资料图和新编图比例尺一定，若已知资料图上某类制图物体的数量，就能利用此公式计算得到新编地图上应选取的地物数量。

在制图综合中，制图物体的选取数量并不完全符合方根模型的基本公式，它受多种因素的影响，例如物体的重要性、表示物体符号的尺寸大小等。

为了解决这一问题，特普费尔在基本公式中加入物体重要性改正系数 C 和符号尺寸改正系数 D，从而得到方根模型的扩展公式：

$$N_b = N_a \cdot C \cdot D \cdot \sqrt{M_a/M_b} \tag{12-6}$$

扩展以后的公式，对于制图综合的适应性增强了。该方法主要用于居民地、湖泊群、岛屿群、建筑物符号群等的选取。图 12.8 所示为由 1∶10 万地图编制 1∶20 万地图，按开方根选取规律公式对居民地进行选取结果的实例。

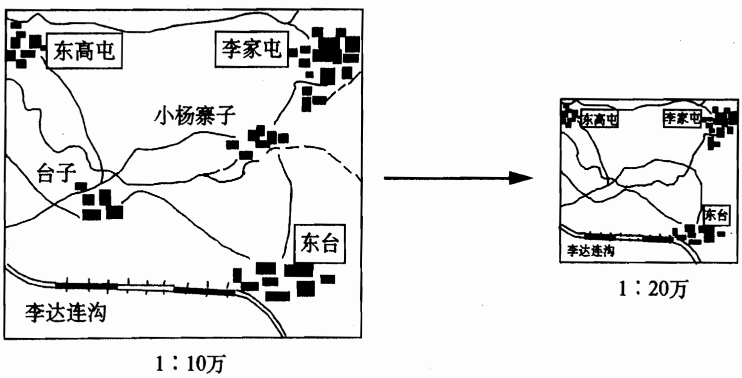


图 12.8　按定额指标选取实例（样图的一部分）

3. 按地物综合区选取

地物综合区是指将制图区域或图幅范围按物体的分布密度划分成的小区域，作为选取的基本单元，选取时在每一个综合区内按统一的定额指标进行选取。综合区的形状根据不同要素的特点可任意划分，一般比例尺大，综合区小些，反之大些。图 12.9 是按照地物综合区进行居民选取的实例（1∶5 万编 1∶10 万图）。这是两个建筑物密度不同的居住区，可以视为两个综合区（*a* 和 *b* 区）。如表 12.4 所示。

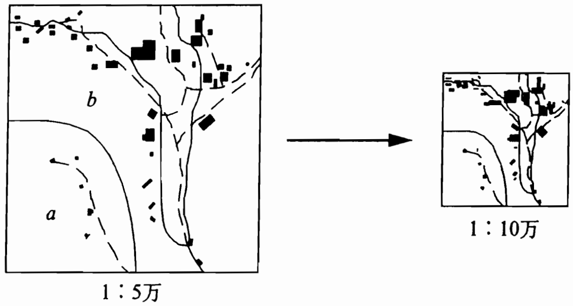


图 12.9　按地物综合区选取实例（样图的一部分）

表 12.4　按地物综合区的选取指标

综合区	1∶5 万图上的选取密度 N_a	1∶10 万图上的选取数	
		出版图	按选取规律公式计算
a	5	5	5（$x=0$）
b	27	19	19（$x=1$）

4. 按地物等级选取

将制图物体按照某些标志分成等级，然后按等级的高低进行选取。划分地物等级时必须考虑到影响物体重要性的多种标志，即全面评价制图物体。

（三）选取方法的组合形式

在制图综合中，为了弥补一种选取方法的不足，常常采用选取方法的组合形式。主要有两种形式，即定额指标和分界尺度组合的选取、定额指标和地物等级组合的选取。如图 12.10 所示。

1. 定额指标和分界尺度组合的选取

（1）先计算选取定额指标，后按地物分界尺度选取

（2）先按地物分界尺度选取，剩余部分按定额指标选取

这里，以湖泊的选取为例（1∶10 万～1∶25 万）予以说明。

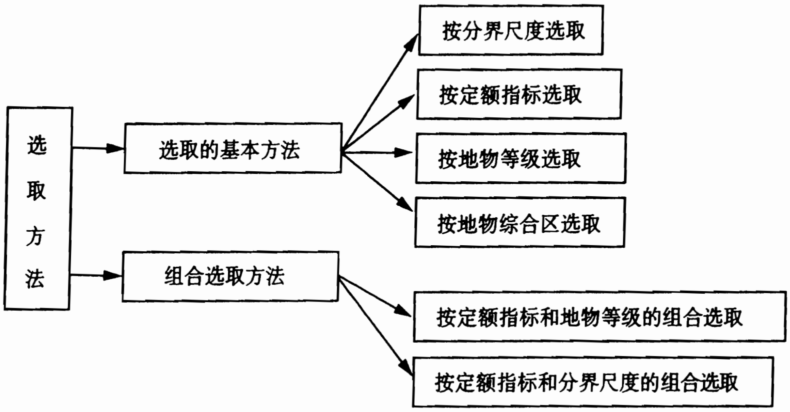


图 12.10　选取的基本方法和组合方法

第一步：构成地物综合区，统计制图物体的实地或资料图上湖泊的密度值 N_a。本例中基本资料为 1∶10 万地形图，其湖泊数 $N_a=319$ 个，如图 12.11 所示。

第二步：利用有关公式计算新编图上地物定额选取指标 N_b。本例按照开方根选取规律公式计算(按 $x=2$，即第二选取级选取)，得到新编图上应选湖泊数 $N_b=127$ 个。



图 12.11　1∶10 万资料图（湖泊数为 319 个）

第三步：选取大于分界尺度的全部地物，记为 N_b'，在 N_b 中减去此数，得综合区内尚需选取的小于分界尺度的地物数 $N_b''=N_b-N_b'$。本例中，在 1∶25万地形图上，湖泊选取的面积分界尺度 $P=1\text{mm}^2$。在资料图上统计后，得到大于分界尺度的湖泊数 $N_b'=95$ 个，同时按上述公式算得 $N_b''=35$ 个。

第四步：采用按分界尺度“有条件”选取的方法，从小于分解尺度的地物中选取 N_b''个，使之满足 $N_b=N_b'+N_b''$。本例中 $N_b''=35$ 个，因此需要按条件选取 35 个小于分解尺度的湖泊，这样才能反映湖泊群的分布特征。最终选取结果如图 12.12 所示。

2. 定额指标和地物等级组合的选取

1）构成综合区，统计制图物体的实地或资料图上的密度值。

2）利用有关公式计算新编图上应选取地物数。

3）按地物等级或总分级值大小逐级截取，直至达到定额指标。

下面，以居民地的选取为例（1∶25 万～1∶50 万）予以说明。

第一步：构成地物综合区，统计制图物体的是活资料图上的密度值 N_a。本

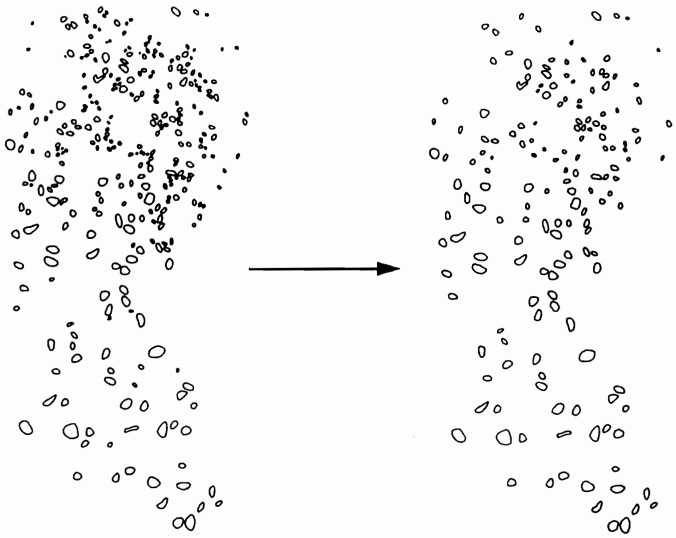


图 12.12　湖泊选取结果（资料图到新编图）

例基本资料为 1∶25 万地形图，居民地的密度分区属于极密区，如图 12.13 所示。

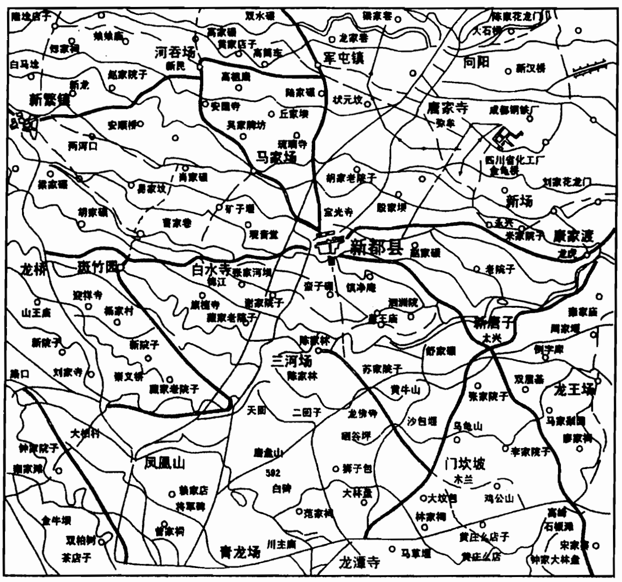


图 12.13　1∶25 万资料图上居民地（部分样图）

第二步：利用有关公式计算新编图上地定额选取指标 N_b。本例中新编图的比例尺为 1∶50 万，在 1∶50 万地形图编绘规范中规定，该密度取定额选取指标为 160～180 个/dm^2，根据新编地图的面积大小，可以计算得到应选取数 N_b。

第三步：按地物等级高低逐级选取，直至达到定额指标。本例选取结果如图 12.14 所示。逐级选取时，一般存在以下三种情况：①某些级的地物全部选取，即必取的。②某些级的地物全部舍去，即必舍的。③某级的地物有取有舍，即部分选取。

设由高级到低级逐级选取 n 级的地物总和数量为 $\sum_{i-1}^{n} N_i$，使之满足不等式：

$$\sum_{i=1}^{n} N_i < N_b < \sum_{i=1}^{n+1} N_i \quad (12\text{-}7)$$

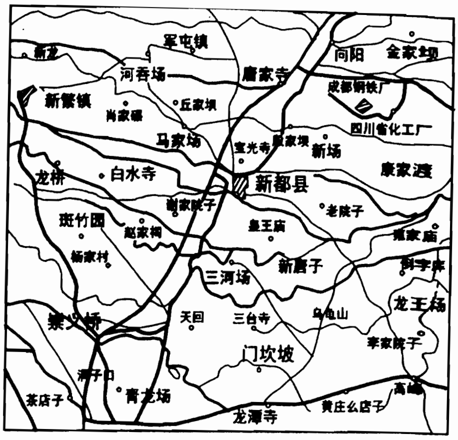


图 12.14　居民地选取结果

也就是说前 n 级选取后还没有达到定额指标，但如果选取前 $n+1$ 级则超过了定额指标。这就意味着第 $n+1$ 级地物需部分选取，选取数量为

$$N_b'' = N_b - \sum_{i=1}^{n} N_i \quad (12\text{-}8)$$

式中：$\sum_{i=1}^{n} N_i$ 为必取地物数。

在第 $n+1$ 级的地物中，按条件选取 N_b''个，使之满足：

$$N_b = \sum_{i=1}^{n} N_i + N_b'' \quad (12\text{-}9)$$

二、地图内容要素图形的化简

制图物体的形状包括外部轮廓和内部结构，所以形状化简包括外部轮廓的化简和内部结构的化简两个方面。形状化简方法用于线状地物（如单线河、沟渠、岸线、道路、等高线等），主要是减少弯曲；对于面状地物（如用平面图形表示的居民地），则既要化简其外部轮廓，又要化简其内部结构。

（一）形状化简的基本方法

化简制图物体形状的基本方法包括删除、夸大、合并和分割。

1. **删除**

就是减少弯曲的数目，使线状物体趋于平滑，面状物体轮廓清晰。如图 12.15、12.16、12.17 所示。

2. **夸大**

为了显示和强调制图物体形状的某些特征，需要夸大表示一些按分界尺度应

该删除的碎部。如居民地、河流、岸线、公路、等高线等。如图 12.18、12.19、12.20 所示。

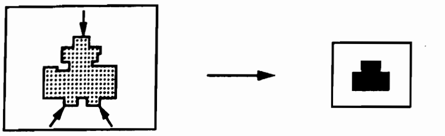


图 12.15　居民地轮廓图形凸出部分的删除

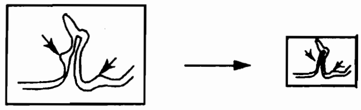


图 12.16　等高线上小弯曲的删除

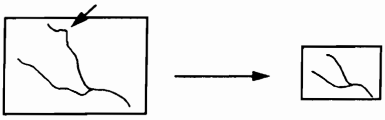


图 12.17　河流上小弯曲的删除



图 12.18　居民地图形的夸大

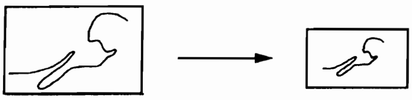


图 12.19　海岸图形的夸大

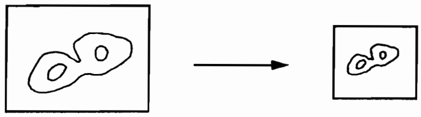


图 12.20　等高线图形的夸大

3. 合并

比例尺缩小后，某些物体的图形面积或间隔小于分界尺度时，可采用合并同类物体的碎部，以反映制图物体的主要特征。例如化简城市居民地时，采用舍去次要街道、合并街区，以反映居民地的主要特征，如图 12.21 所示。

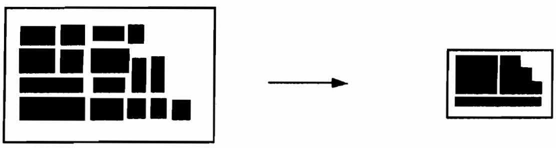


图 12.21　居民地街区的合并

4. 分割

当采用合并方法不能反映图形特征或者会歪曲其图形特征时，应采用分割的方法（图 12.22）。

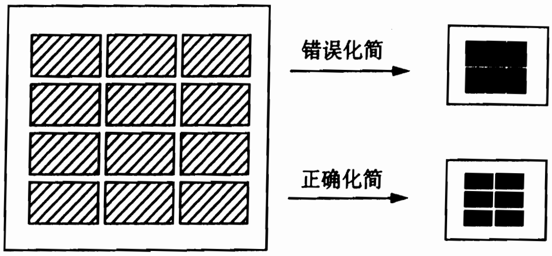


图 12.22　居民地街区的分割

（二）外部轮廓形状的化简

1. 外部轮廓形状的化简要求

（1）保持弯曲形状或轮廓图形的基本特征（图 12.23）

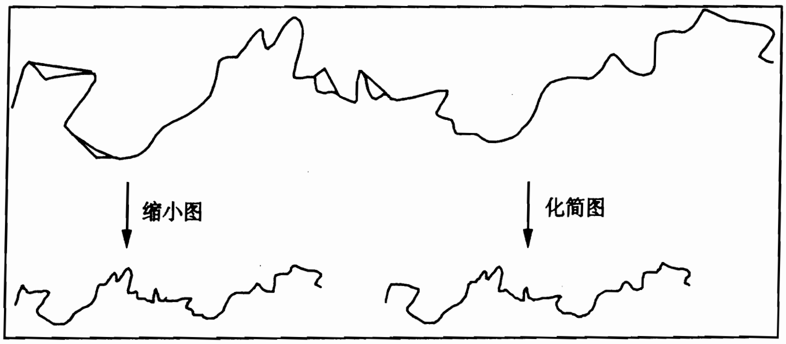


图 12.23　保持轮廓图形特征

（2）保持弯曲特征转折点的精确性（图 12.24）

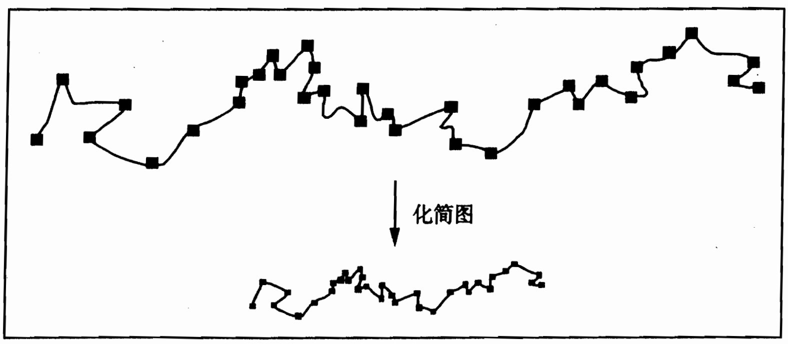


图 12.24　保持特征点的精度

（3）保持不同地段弯曲程度的对比（图 12.25）

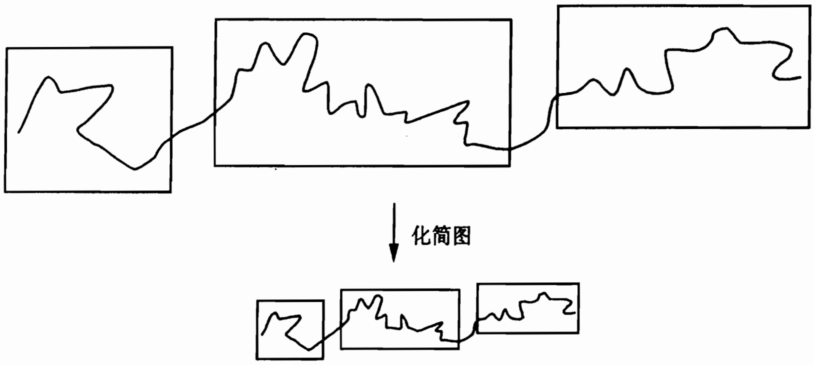


图 12.25　保持轮廓图形弯曲对比

2. 外部轮廓形状的化简方法

(1) 按分界尺度化简形状

用这种方法化简形状，需要规定取舍弯曲的分界尺度，以分界尺度作标准，判断弯曲的取舍。化简形状（即取舍弯曲），必须有两个分界尺度，即弯曲的宽度 d 和弯曲的深度 t（如图 12.26 所示）。

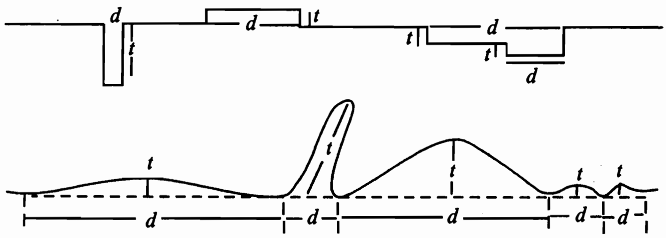


图 12.26　化简的分界尺度

(2) 按选取规律公式化简形状

线状地物或面状地物的外部轮廓都是由许多弯曲组成的，我们可以把轮廓线的弯曲数视为地物数，按选取指标进行选取。线状地物的“弯曲数”是以曲线主轴（或中线）一侧的弯曲顶点数计算的，如图 12.27 的小圆圈所示。

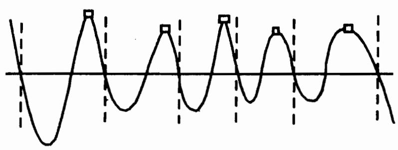


图 12.27　线状地物弯曲数的确定

（三）内部结构的化简

内部结构是指制图物体内部或某一具有显著特征的景观单元内部各组成部分的分布和相互联系的格局。化简内部结构的基本方法是合并相邻的各组成部分，必要时辅之以其他化简方法。

三、地图内容要素数量和质量特征的概括

用符号表示制图物体（现象），不可能对实地具有某种差别的物体（现象）分别一一赋予不同的符号，而只能用同一符号表达实地上质量特征或数量特征比较接近的制图物体（现象），这就要求对表示在地图上的制图物体（现象）进行分类、分级。对于性质上有重要差别的物体进行分类，同一类物体由于其性质或数量特征的某种差别又划分成不同的等级。每一个等级代表一定的质量或数量概念。随着比例尺的缩小，要相应地减少制图物体（现象）的类别和等级。这就是说要对制图物体（现象）的质量、数量特征进行概括。

制图物体的数量特征指的是物体的长度、面积、高度、深度、坡度、密度等可以用数量表达的标志的特征。制图物体选取和形状概括都可能引起数量标志的变化。也就是说，数量特征概括是隐含在选取和形状概括之中的结果，并不需要制图者采取任何的综合动作。数量特征的概括结果，一般表现为数量标志的改变，并且常常是由详细变得比较概略。

制图物体质量特征指的是决定物体性质的特征。对于性质上有重要差别的物体用分类的概念，例如河流和居民地属于不同的类。同一类物体由于其质量或数量标志的某种差别，又可以区分出不同的等级，其分级数据可以是定名量表的（如居民地按行政意义分级），也可以是顺序量表的（如居民地按大、中、小分级）或按间隔量表的（如居民地按人口数分级）。

实施质量、数量特征概括的基本方法有：等级合并方法，概念转换方法，图形转换方法。

（一）等级合并方法

等级合并是通过合并制图对象的质量、数量等级，即减少按质量、数量特征分级的数目，实现质量、数量特征的概括。

地图上表示的制图对象的质量、数量等级，可以区分为质量等级和顺序等级两种。

若表示的制图对象有明确的质量差异但无先后顺序（可按任意方式排列），则为质量等级，最典型的例子如植被、干出滩、沼泽等的质量分级；若表示的制图对象的质量或数量特征有明确的先后顺序，则为顺序等级，如公路按宽度、建

筑情况、行驶速度等分级，居民地按行政意义或人口数的分级等。

等级合并表现为地物质量等级或顺序等级的合并。

地物质量等级由于没有明确的被公认的先后顺序，因此可以用不同的方法进行分类和合并。但是，这种分类和合并必须建立在正确的、科学的归类概念上。例如，随着比例尺的缩小，能通行的沼泽和不能通行的沼泽可以合并为沼泽，因为“沼泽”是更高一级的概念；植被中森林、矮林、幼林、苗圃、小面积树林可以合并为森林（包括幼林）和不依比例的森林（图 12.28）。但是，植被中的森林和稻田则不能合并，因为前者是木本植物，而后者是草本植物。

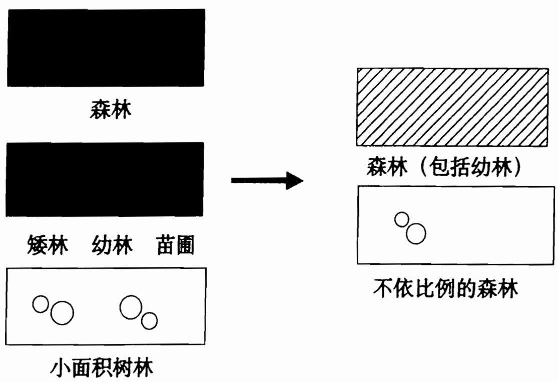


图 12.28　1∶10 万到 1∶100 万地图上植被质量等级合并

地物顺序等级由于有明确的被公认的先后顺序，因此随着比例尺的缩小，可以按质量特征（或数量特征）重新划分等级，也可合并等级，即按级合并相邻的地物种类。道路等级的合并（图 12.29），居民地按人口数量的重新分级或合并

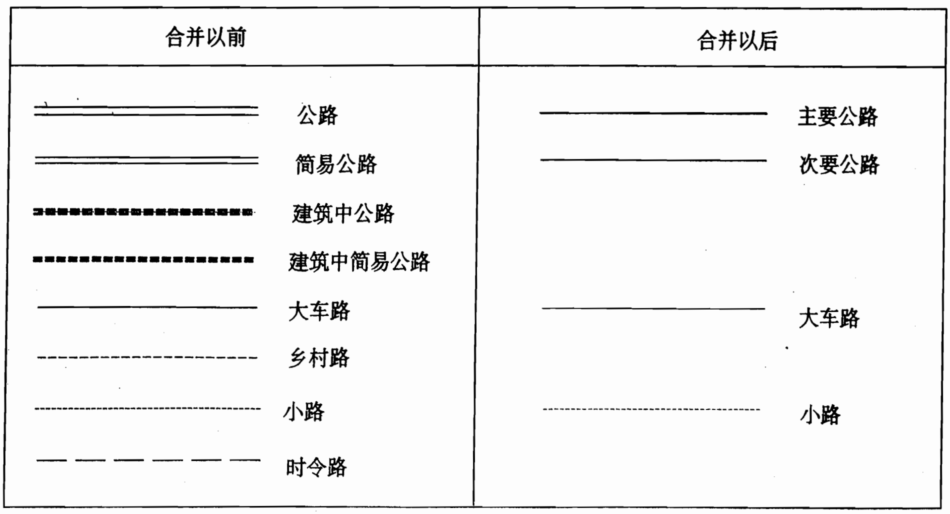


图 12.29　道路等级的归并和重新划分

等级就是这方面的例子。

应当指出，并非所有的地物顺序等级都能采用合并方法，例如居民地按行政意义分级，在任何时候，都不能将县级居民地与乡级居民地合并为一个等级，此时只能采用“截取”方法，即只选取县级以上居民地，乡级以下居民地不表示。

（二）概念转换方法

指由一种目标的本来的质量概念转换为另一种目标的质量概念。例如，大片森林中的小面积空地转换为森林，如图 12.30 所示。

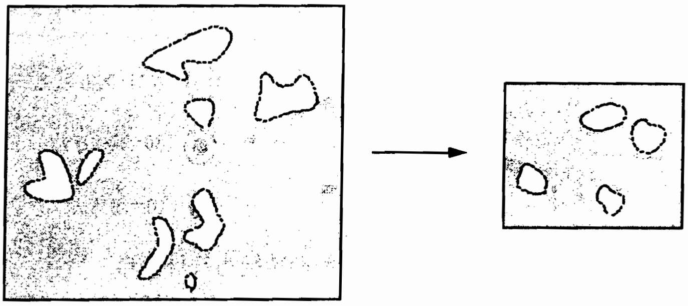


图 12.30　大面积森林中小面积空地转换为森林

再例如，居民地中小面积空地转换为建筑区（如图 12.31 所示）；又如，大片冰雪覆盖区中零星分布的裸露区转换为冰雪覆盖区（如图 12.32 所示）。

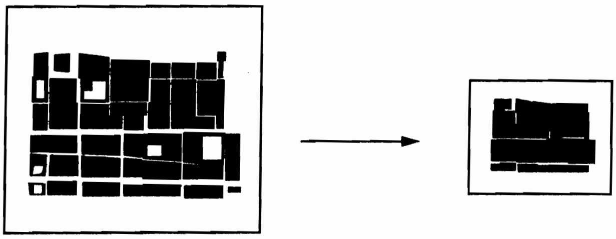


图 12.31　大面积居民地中的小面积空地转换为建筑区

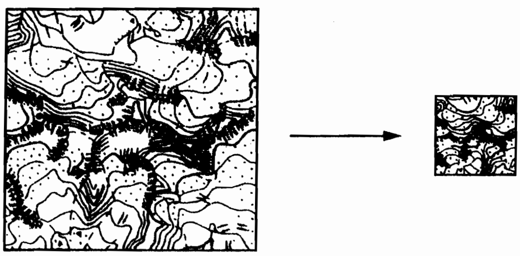


图 12.32　大片冰雪覆盖区中的小面积裸露区转换为冰雪覆盖区

（三）制图物体的图形等级转换方法

对于同类地物来说，地物质量的差别是通过与地物质量相应的图形分级来体现的。图形等级转换是通过轮廓图形和符号图形的转换来实现地物质量、数量特征概括。

例如，居民地轮廓图形和符号图形的转换（如图 12.33 所示）。从表示每个建筑物的轮廓图形，到表示居民地的轮廓图形，再到表示建筑物的符号图形，最后到表示整个居民地的符号图形。从而实现由表示单个建筑物的质量和数量特征转换为表示整个居民地的质量和数量特征。

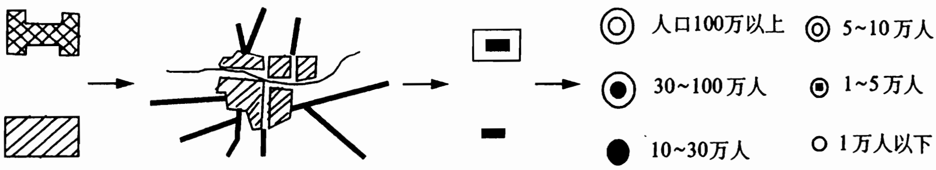


图 12.33　居民地轮廓图形转换为符号图形

再如，双线河流和单线河流图形的转换（图 12.34）。表示河流时，由河口到河源逐渐变窄。因此，每条河流图形按宽度的分级为：依比例尺表示的双线图形（两条岸线）；不依比例尺表示的双线符号（超过实际宽度）；依比例尺表示的单线图形；不依比例尺表示的单线符号（超过实际宽度）。这里，出现了轮廓图形转换成线状符号。如 1∶50 万比例尺地形图，以实地河宽 100m 作为单线与双线表示的分解尺度，单线线粗为 0.08～0.4 mm。双线从 0.4mm 开始，相应于实地河宽 200m 以上。不难看出，无论是双线或单线表示的河流，都存在着轮廓图形向符号图形的转换。

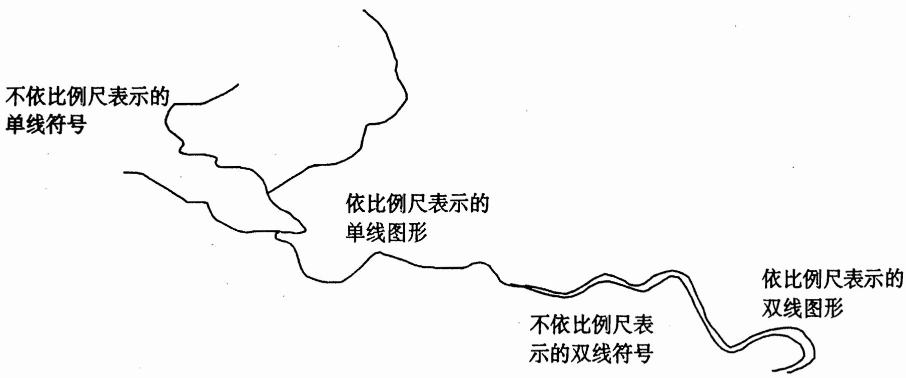
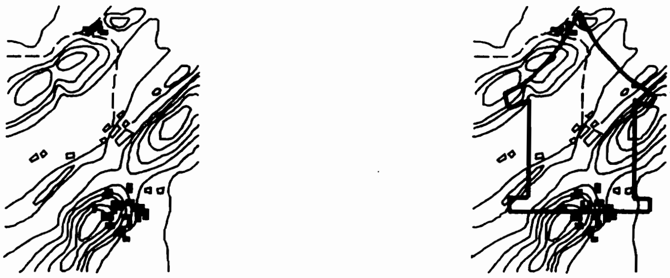


图 12.34　双线河流转换单线河流图形

四、位移

随着地图比例尺的缩小，以符号表示的各个物体之间相互压盖，模糊了相互间的关系（甚至无法正确表达），使人难以判断，需要采用图解的方法即采用“位移”的方法，加以正确处理。“位移”，其目的是要保证地图内容各要素总体结构的适应性，即与实地的相似性。这里以 1∶100 万地图上一个庙宇符号在 1∶2.5万地图上所占面积为例。为了突出一个有方位意义的庙宇建筑，在1∶100 万图上仍以不依比例尺的符号表示，但这个符号却占据了实地约 $1km^2$ 的面积，不但压盖了其周围的小房屋，甚至压盖了一个村庄（图 12.35）。



(a)1∶2.5万图　　(b)1∶100万图上庙宇符号在1∶2.5万图上所占的位置

图 12.35 位移示例

（一）位移解决的问题

采用位移方法，必须解决以下问题：

1）哪个位移，哪个不位移?

2）往哪个方向位移?

3）位移多少?

（二）位移的条件

为了达到在地图上各要素间关系正确，有下列情况之一者，地物符号必须位移：

1）毗邻地物之间没有必要的最小间隔但又必须放大地物本身的轮廓。

2）加粗线条，加宽符号。

3）在不破坏毗邻地物图形的情况下必须放大地物本身的轮廓。

4）由于毗邻地物的移位不允许改变彼此的相对位置。

（三）位移的大小

位移的大小以两符号间关系能够清晰表达且留有最小间隙（0.2mm）较为

适宜。

（四）位移的基本要求

1. 一般原则是保证重要物体位置准确，移动次要物体

1）海、湖、大河流等大的水系物体与岸边地物发生矛盾时，海、湖等不位移。

2）海、湖、河岸线与岸边道路发生矛盾时，保持岸线位置不动，平移道路，或保持岸线、道路走向不变，断开岸线。

3）海、湖、河岸线与岸边人工堤发生矛盾。堤为主时，堤坝基线不动，堤坝基线代替岸线；岸线为主时，岸线不动，向内陆方向平移堤坝，堤坝与岸线保持间隔 0.2mm。

4）城市中河流、铁路与居民地街区矛盾时，河流、铁路位置不动，移动或缩小居民地街区，或河流不动，移动铁路和街区。

5）高级道路与居民地发生矛盾时，保持相离、相切、相通的关系，移动小居民地。

2. 特殊情况下，要考虑地区特点、各要素制约关系、图形特征、移位难易等条件

1）峡谷中各要素关系处理，保持谷底河流位置正确，依次移动铁路、公路。

2）位于等高线稀疏开阔地区的单线河与高级道路，应保持高级道路位置不动，而移动单线河。

3）沿海、湖狭长陆地延伸的高级道路与岸线的关系，应移动岸线，保持高级道路的完整而准确地绘出。

4）狭长海湾与道路、居民地毗邻时，应保持道路位置和走向及居民地位置不变，而平移河流，扩大海湾的弯曲。

5）海、湖、河岸线与独立地物的关系，应保持独立地物的点位准确，而中断或移动岸线。

3. 相同要素不同等级地物间图解关系的处理

1）同一平面上相交时：等级相同的高级道路，应断开高级道路叉口内的交叉边线；等级不同的高级道路，应保持高一级道路符号的完整连续，其他等级的道路在交叉点处衔接；低级道路均以实线相交，并保持交点位置准确。

2）同一平面上平行时：高级道路及桥梁采用共边线的方法，或保持高一级道路不动，移动低一级的道路；相同等级的道路则视情况，移动一条，或者两条同时向两侧移动。

3）不同平面上相交时：位于上面的道路，不论等级高低，一律压盖下面的道路；对于立体交叉的道路可作适当化简。

4）不同平面平行时：保持高级道路不动，移动低级道路；或者共用边线。

下面是位移的一些示例（图 12.36、图 12.37、图 12.38、图 12.39、图 12.40）。

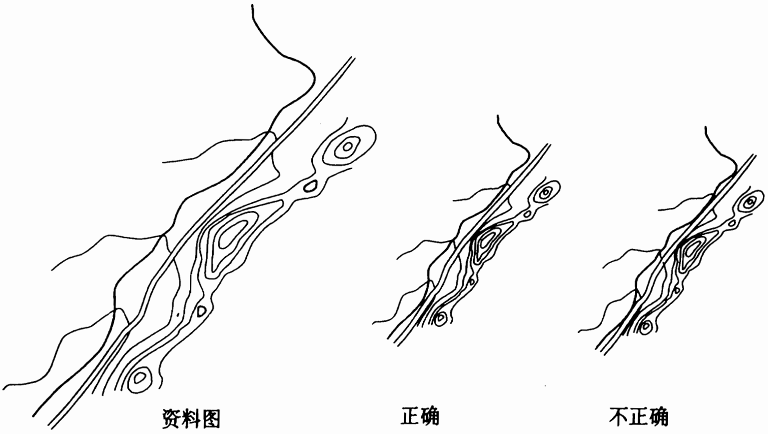


图 12.36　单线河与铁路相近时的关系处理

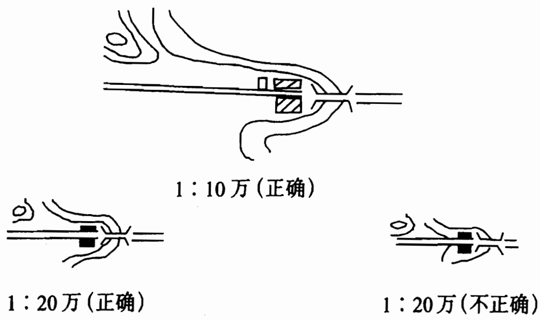


图 12.37　河湾中居民地、道路与河流关系的处理

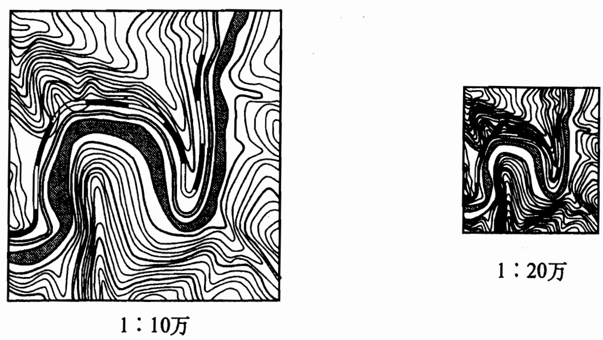


图 12.38　河流与道路的关系处理
（保持河流不动移动道路，以共边表示）

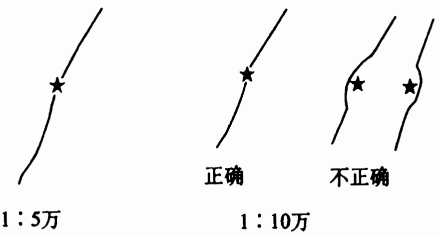


图 12.39　独立地物与岸线的关系处理

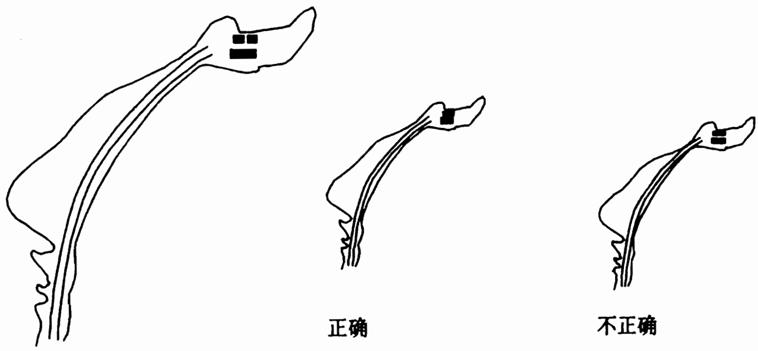


图 12.40　公路通过狭长海湾角时的关系处理

第十三章　地图内容各要素制图综合

地图内容要素的制图综合，主要是指普通地图内容各要素的制图综合，对于专题地图，制图综合主要包括专题地图的地理底图资料处理和专题要素的分类分级处理。

第一节　水系要素制图综合

水系是海洋、湖泊（水库、池塘）、河流（沟渠）、井（泉）等物体的总称，它同自然界和人类社会有着密切的联系。在编制地图时，水系是最重要的地性线之一，常被看作是地形“骨架”，对其他要素有一定的制约作用。

各种水系物体在地图上的表现形式，有面状的（海洋、湖泊、水库等）、线状的（河流、运河、沟渠）和点状的（井、泉等）。根据地图上水系物体的符号，能够获得水系物体的位置、大小（宽窄）和形状，以及水体性质（沿岸地带性质、河流底质、水质），动态特征（水位变化）、数量特征（河宽、水深及水位高程）和名称等信息。

一、水系要素综合的基本要求

（一）反映水系要素平面图形的结构特征

水系要素的平面图形特征主要指河系、海岸和湖泊等的平面图形类型。其中河系类型有树枝状、羽毛状、格状、辐射状、辫状，它们与地貌类型有关，综合时应正确掌握选取指标（分界尺度）。海岸类型有岩质海岸和泥沙质海岸。岩质海岸的特点是高起的岩质后滨，以侵蚀作用为主。泥沙质海岸的特点是低平的后滨（与成因有关），以堆积作用为主。综合时应正确掌握岸线弯曲特征、干出滩的表示、海岛的选取。湖泊类型有岛陆湖荡、火口湖、山谷水库、构造湖、火口堰塞湖、潟湖、牛轭湖、规则湖泊群，它们与成因有关，综合时应正确选取湖泊，注意湖泊形状差异、湖泊与河流的联系。

（二）反映水系要素的密度对比

河网密度、湖泊群密度与降水量有关，岛屿群密度与地貌构造有关，综合时应灵活掌握选取指标，反映其密度对比。

（三）反映水系要素不同地段弯曲程度对比

岸线和河流弯曲受地形控制，综合时应灵活掌握弯曲取舍的分界尺度，反映不同地段弯曲程度对比。

（四）保持轮廓形状基本形态的相似性，保持特征弯曲转折点

即保持水系要素的类型特征（平面图形特征）、密度对比特征、弯曲程度对比特征、轮廓图形基本形态特征、水系与地貌相互制约与联系的特征，特别是要保持特征弯曲转折点的准确性。

二、河流、沟渠的综合

（一）河流的选取

河流选取采用“按分界尺度有条件选取法”。取舍河流的分界尺度，一是长度，二是相邻河流的间隔。取舍河流的分界尺度一般为长度 10mm 左右，间隔 2～3mm 左右。选取河流应考虑的条件有以下 3 条：

1. 河系类型

河系类型即河系平面图形的类型，河系类型不同对按分界尺度有条件选取河流是有影响的。例如：对于树枝状河系，尤其对主流两侧支流的长短和数量均不平衡的情况，某些长度小于 10mm 的支流亦应选取（图 13.1）；对于羽毛状河系，为反映主流两侧支流的数量对比和同一侧支流的疏密对比，要选取一些长度

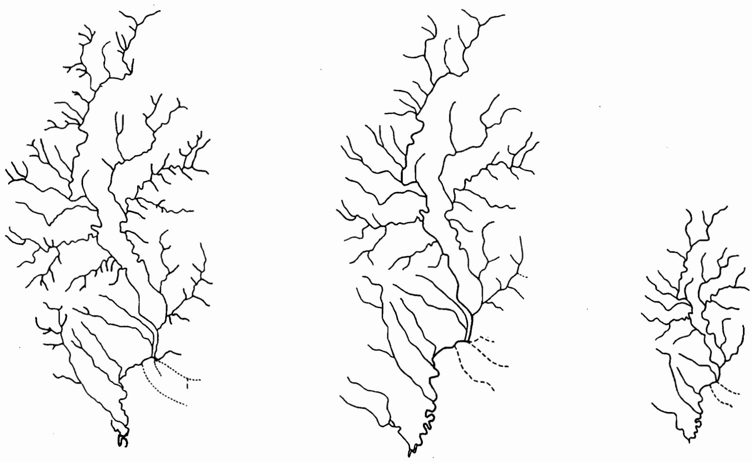


图 13.1　树枝状河系的选取（其中 1∶10 万图上选取了 22 条低于指标的小河，1∶20 万图上选取了 8 条低于指标的小河）

小于分界尺度的小河（图 13.2）；对于格状河系，为反映主流与支流近似相互垂直构成网格的特点，应选取一些与主流近似垂直的长度小于分界尺度的小河（图 13.3）；对于辐射状河系，为显示辐射的特点，应选取一些长度小于分界尺度的小河（图 13.4）；对于平行状河流，应着重选取互相平行的河流，当两平行支流

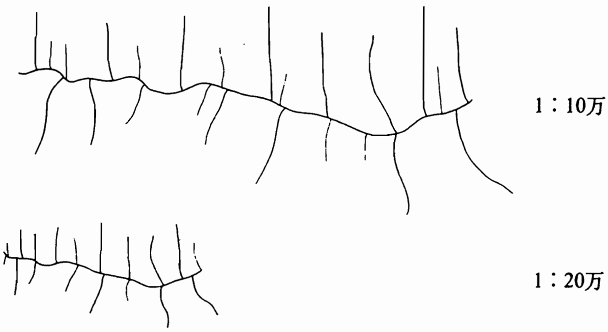


图 13.2　羽毛状河系的选取（缩小图上选取了 10 条低于指标的小河）

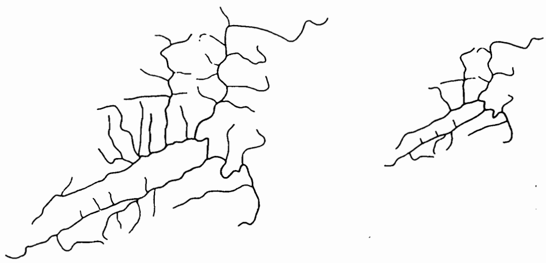


图 13.3　格状河系的选取（新编图上选了 13 条低于指标的小河）

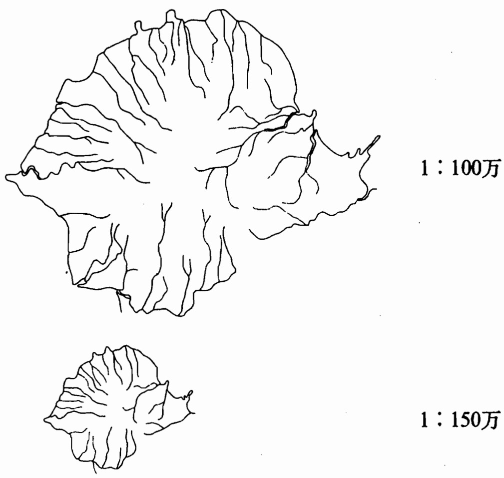


图 13.4　辐射状河系的选取（新编图上选了 15 条低于指标的小河）

相邻间隔小于 2～3mm 时，则应适当舍去长度大于 10mm 的河流及短小叉流（图 13.5）。

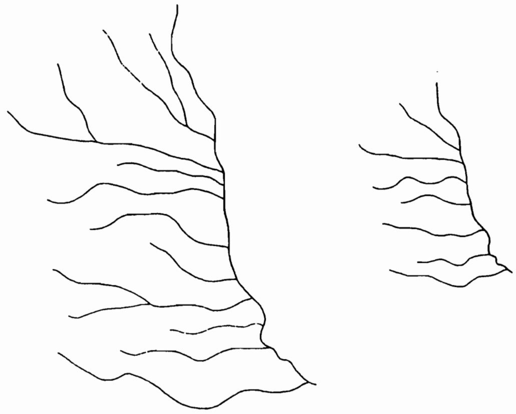


图 13.5　平行状河系选取（舍去间隔小于 2～3mm 的 7 条大于分解尺度的河流）

2. 河网密度差别

即使是在一个较小的区域内，不同地段的河网密度也是有差别的。河网密度大的地段，应选取一些小于分界尺度的小河；相反，河网密度小的地段，也可能舍去一些长度大于分界尺度的河流（图 13.6）。



图 13.6　为反映河网密度的特点，选取一些长 3～5mm 的沟渠

3. 河流本身的重要意义

不同地区的河流（沟渠）具有不同的价值和意义，对于那些有军事价值、政治意义及地理意义的小河流，虽长度小于分界尺度，也应予以选取，如：①作为国界的小河；②荒漠缺水区的小河；③连接大、中型居民地的小河；④石灰岩地区的断头河与断尾河；⑤湖泊的进水河、排水河，作为连通湖泊通道的小河；⑥高山地区作为区别冰斗湖和冰蚀湖性质的河流；⑦大河上唯一的或少有的几条小河，独流入海（或大湖泊）的小河；⑧连接水库的主要渠道。

（二）河流图形的化简

化简河流图形时，应保持河流弯曲的基本形状、不同河段弯曲程度的对比、河流图形特征点的精确。对于复杂河流图形，即复杂的辫状河网、人工沟渠网及河漫滩等，它们的图形结构比较复杂，综合难度比较大，应特别注意。

图 13.7 是复杂辫状河网图形化简的示例。综合时应选取主河道（最长、最宽的）；选取控制河网范围的外围河道；选取其他河道，保持河网内各部分密度对比。化简辫状河网时，必须注意河网由一点展开后又收缩的特点。随着比例尺的缩小，叉流不能用双线表示时，可改用单线表示。

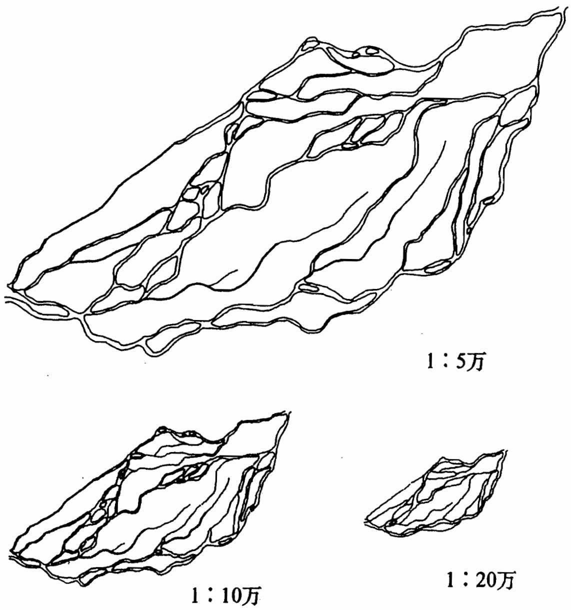
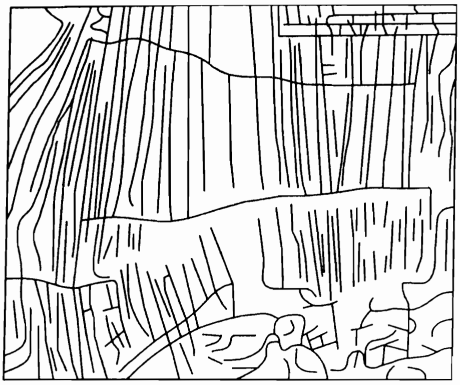


图 13.7　复杂辫状河网化简

图 13.8 是复杂人工沟渠图形化简的示例。为反映人工沟渠网密集的特点，间隔指标可降至 2mm。首先选取最长的、有“骨架”作用的，以反映景观特征为主要目的。在这种情况下，多选或少选几条已不是主要问题了。



(a) 资料缩小图



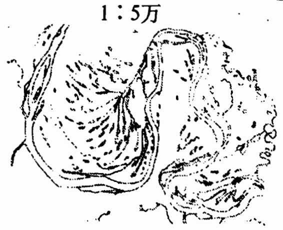
(b) 综合图

图 13.8　复杂人工沟渠网图形的化简

图 13.9 是复杂河漫滩河流图形化简的示例。综合时应选取主河道（尤其是在叉流多的地方）；选取叉流（河心沙洲当相邻间隔小于 0.2mm 又形状有明显联系时，可合并表示）；选取牛轭湖（注意排列方向）；表示沼泽。



1∶5万



1∶10万

图 13.9　复杂河漫滩河流图形的化简

三、海岸、岛屿的综合

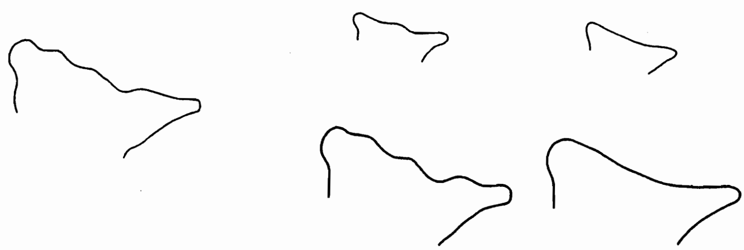
（一）海岸的综合

根据大、中比例尺地形图上海岸综合的特点，将海岸归纳为侵蚀为主的岩质海岸和堆积为主的泥、沙质海岸两种基本的形态类型。

1. *岩质海岸的综合*

岩质海岸的特点是具有高起的有滩或无滩岩质后滨。由于在海角地区波浪汇合，能量集中于崖壁，侵蚀破坏作用强烈，造成岩岬突兀，岸线曲折，多港湾、岛屿、岛礁；在海湾地区波浪散开，能量扩散，形成堆积区。迎海面的岩质海岸，风很大，侵蚀强烈；背海面部分风浪小，堆积活动旺盛。侵蚀区和堆积区是互相联系的，堆积区物质来源于侵蚀区（有时有河流携带），显示它们的分布状况和空间联系，有利于判断海流方向（有时尚有河口偏离现象）。

岩质海岸综合的方法是：用带棱角转折的手法反映生硬岸线地段的图形特点，保持尖窄的岩岬（图 13.10）；用强调岬角（图形生硬，适当配置陡崖符号）和海湾（保持海湾的基本形态特征，适当配置干出滩符号）的方法，反映岬角、海湾交替出现，侵蚀与堆积互相联系的特点（图 13.11）；



(a) 资料图形　　(b) 正确的化简　　(c) 错误的化简

图 13.10　岩质海岸的综合方法（强调生硬岸线）

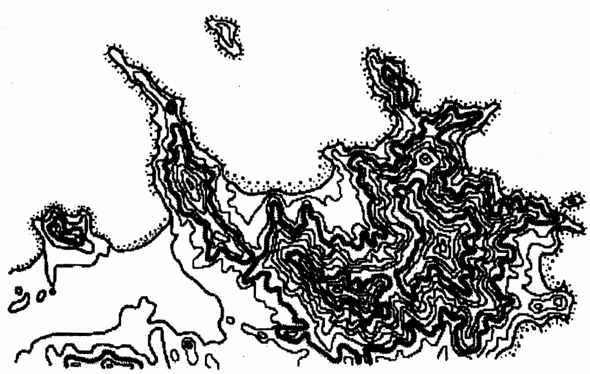


图 13.11　岩质海岸的综合方法（强调岬角和海湾）

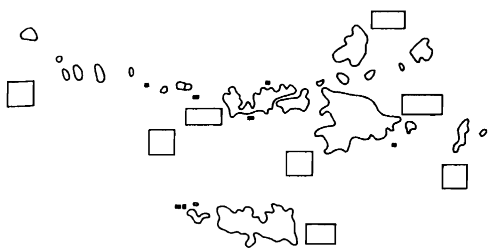


图 13.12　用点表示岛屿并注记名称

尽可能选取岩滩和岛、礁，有导航设备的小岛可用灯塔符号代之（图 13.12）；保持岸线与等高线图形的协调性，区分后滨地带的有滩与无滩（图 13.13）。

2. 泥沙质海岸的综合

泥沙质海岸的特点是具有低平的后滨，除少数地段有土质陡岸外，多

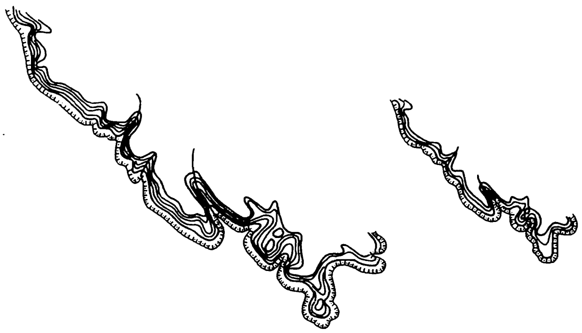


图 13.13　保持岸线与等高线协调

为平缓的岸坡，以堆积作用为主，后滨地带常常有沙丘、沼泽、盐碱地或岸垄分布，并有宽窄不一的干出滩。岸线平滑，少港湾。在湾口或河口处，常有沙咀、沙堤或潟湖，堆积条件好的，常形成三角洲。

泥沙质海岸的综合方法是：用拐弯柔和的手法反映平缓圆滑的图形特点（图 13.14）；用保持沙咀、沙坝内侧小弯曲及其延伸方向，反映堆积物的形状和发展趋势（图 13.15）；用填绘相应符号、正确选取河道与潮水沟的方法反映干出滩的性质、内部结构和范围；正确选取主河道和叉流、潮水沟及外围的沙坝，正确显示三角洲海岸近似三角形的总外形，岸线轮廓与干出滩、沙坝所围形状的一致性，扇状分枝特点及高水界与港汊的明显联系（图 13.16）。

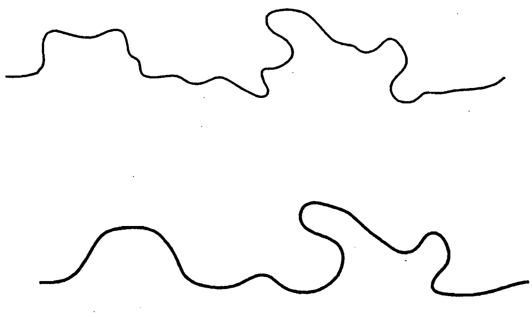
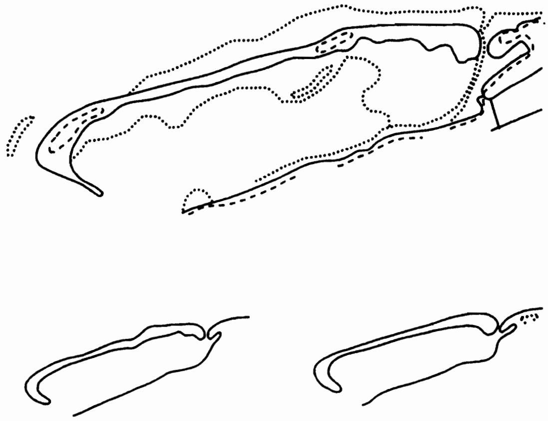


图 13.14　泥沙质海岸的综合
（反映平缓圆滑特点）



正确　　　　错误

图 13.15　沙咀、沙坝的综合（反映内侧小弯曲）

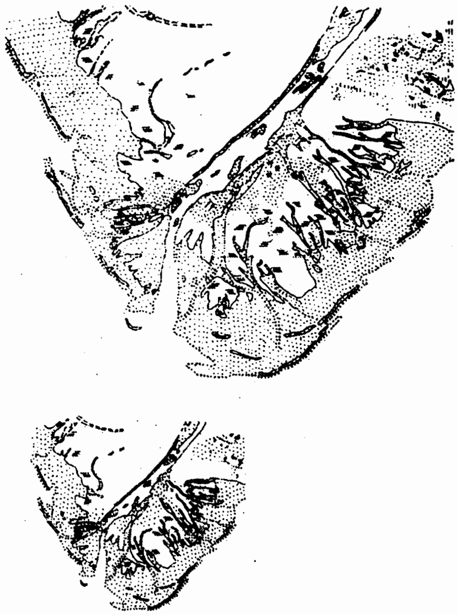


图 13.16　三角洲海岸的综合

（二）海岛的选取

采用按分界尺度有条件选取法和组合选取方法选取海岛。选取海岛时应该顾及岛屿的分布密度（反映成群密集分布、稀疏分布和零星存在的特点）；反映岛屿与陆地沿岸地貌结构的延伸方向的关系（海浸淹没陆地后，由山丘变成的岛

屿，其分布范围应同山体结构相适应，一般靠近海岸附近范围宽，距离越远宽度越小)；标志我国领土范围的岛屿应着重选取（如我国东海中的钓鱼岛、南海中的曾母暗沙等)；反映岛群的分布范围、相对密度、排列方向和规律、单个岛屿的大小等。

四、湖泊（水库）的综合

（一）湖泊图形的化简

化简湖泊图形时，除按化简的基本方法化简岸线外，还应注意反映湖泊与地貌、河流的联系及湖岸地带的性质。

湖泊的形状（图 13.17）与其成因关系十分密切。对于火口湖、山谷水库，概括岸线时，应保持岸线与等高线相协调，删除不协调的小弯曲；构造湖的形状和方向应与谷地或盆地的延伸方向相吻合；潟湖的方向应与海角延伸方向相适应；牛轭湖则应保持不同程度的弓形等。

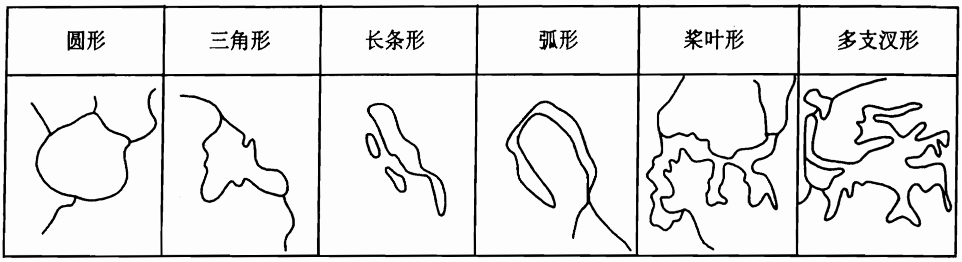


图 13.17　湖泊的形状

与河流有联系的湖泊，应注意显示进、出水河口地带的不同特征，特别是大河流注入湖泊时，多形成三角洲。

有的湖泊随着沉淀物的增加、岛屿的增多，不断缩小面积，沿岸沼泽广布，甚至全部淤浅沼化，应选择一定数量的岛屿，配置必要的沼泽符号，以反映湖岸地带的性质。

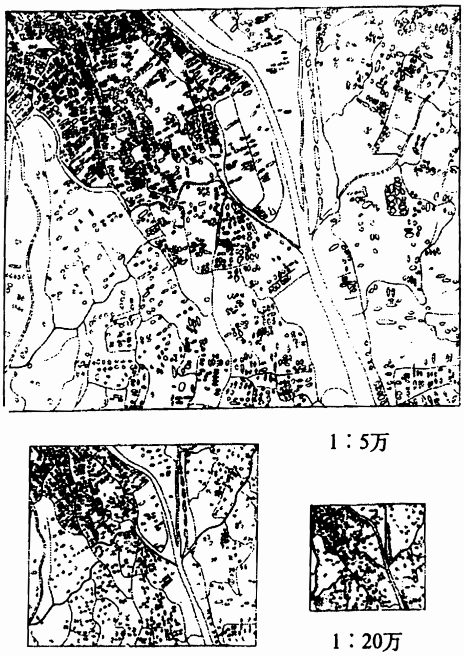
（二）湖泊的选取

湖泊通常只取舍，不合并。

湖泊的选取采用“按分界尺度有条件选取”法。除选取全部大于或等于分界尺度的湖泊外，应按条件选取那些有价值和意义的、小于分界尺度的小湖泊，如：①有经济价值的小湖；②缺水区的淡水湖；③作为河源的小湖；④石灰岩地区的小湖；⑤孤立分布的小湖。

对于大量小湖泊密集分布不规则的湖泊群，应着眼于区域景观特色，多选取

小于分界尺度的小湖泊并夸大表示，反映湖泊群的整体特征，如分布范围、排列方向和密度差别（图 13.18）。



1∶5万

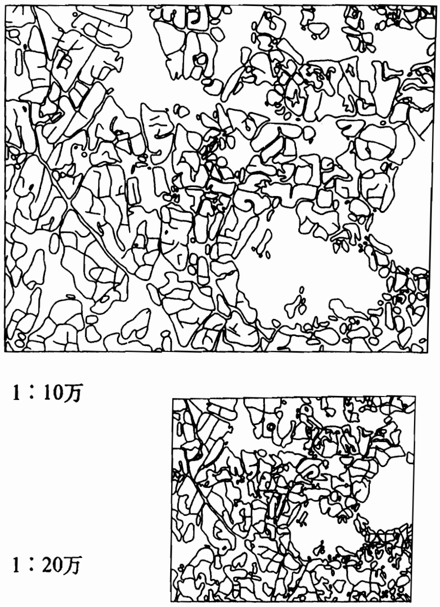
1∶10万

1∶20万

图 13.18　珠江口三角洲桑（蔗）基鱼塘群的综合

对于大量小湖泊密集分布规则的湖泊群，应区别湖泊面积与湖泊间隔大小的对比。如果湖泊间隔大于湖泊面积，可相间取舍湖泊，保持分布范围与数量对比；如果湖泊间仅一堤之隔，可采取类似化简街网的方法，即视湖网结构来取舍湖堤，合并湖泊。

对于河湖相连，岛屿星罗棋布的所谓岛陆湖荡区，应着重反映水陆面积对比及水网密度对比，区分主次河道，舍去部分短小水道（图 13.19）。



1∶10万

1∶20万

图 13.19　岛陆湖荡区的综合

五、水系物体名称注记的选取与配置

图上长度超过 5cm 的河流要注出名

称；江河每隔 15cm 左右重复注记名称；一条河流有多个名称时，优先选取下游名称；河网地带有多个名称时，选注主航道名称；同一湖泊不同部位名称不同时，选面积大的或湖泊中央的名称（图 13.20）；海峡、海湾、岛屿、礁石等根据面积大小、分布范围、延伸方向和航行保障等要求选注（图 13.21）。

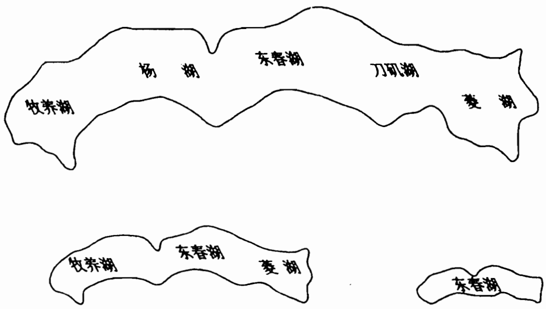


图 13.20　湖泊名称注记的选取



图 13.21　水系物体名称注记的配置

第二节　地貌要素制图综合

一、等高线表示地貌的基本特点

1）等高线是在满足高程精度的前提下，能够反映地貌特征的近似等高程点的连线，它既可供判断地貌的平面位置，又可供测量地面高程（图 13.22）。

2）“平面”上的一组等高线有表示“立体”的地面起伏的效果，不同的等高线图形，能够相对地显示地貌的基本形态（谷地、鞍部、山顶、山脊和斜坡等），不同等高线图形的组合，能反映复杂多样的地貌类型特征（图 13.23）。

3）图上等高线的疏密（间隔大小）与地面坡度相适应。等高线越密，坡度

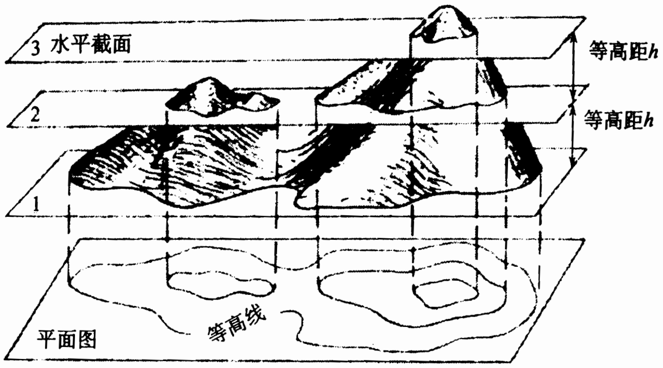


图 13.22　按等高的距离截取地面形成等高线

越大；等高线越稀，坡度越小（图 13.24）。

4）等高线的实质是对起伏连续的地表作“分级”表示，这就使人产生阶梯感，而影响连续地表在图上的显示效果。

据此，化简等高线图形时应注意：

1）保持等高线位置的相对准确性，因为任意移动等高线位置的做法，都会影响地貌的平面位置和高程精度。

2）善于识别各种地貌基本形态的等高线图形特征，建立地图上的“平面”图形与实地上的“立体”形态之间的联系，将地图上的一组等高线视为具体的实地地貌形态来化简。

3）注意以等高线的疏密反映地面坡度的正确对比。

4）注意各条等高线之间的有机联系，尽可能减少等高线法“分级”表示所造成的“阶梯”感影响，增强等高线表示地貌的立体效果。

二、化简地貌形态的基本方法

对于绝大多数地貌，化简其形状的基本方法是删除谷地；而对于某些特殊的地貌类型，化简其形状的基本方法是删除小山脊。可以删除谷地的地貌称为正向形态为主的地貌；可以删除小山脊的地貌称为负向形态为主的地貌。

(一)“扩正压负”方法

即扩大正向，缩小负向。基本方法是删除谷地，合并山脊，使山体轮廓完整。删除谷地时，等高线是沿着山脊的外缘越过小谷地，使谷地“合并”在山脊之中（图 13.25）。

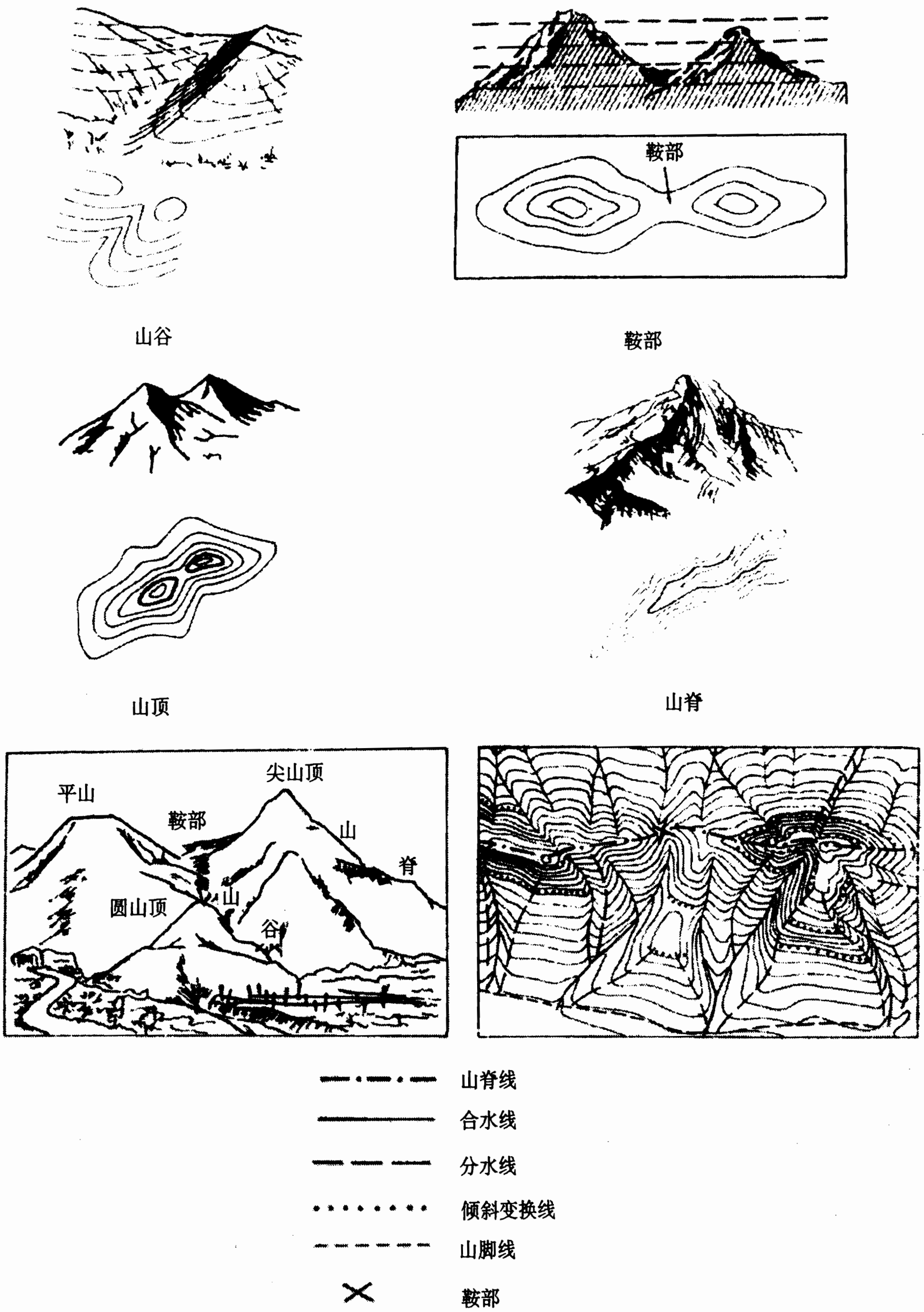


图 13.23　等高线可以反映地貌基本形态变化

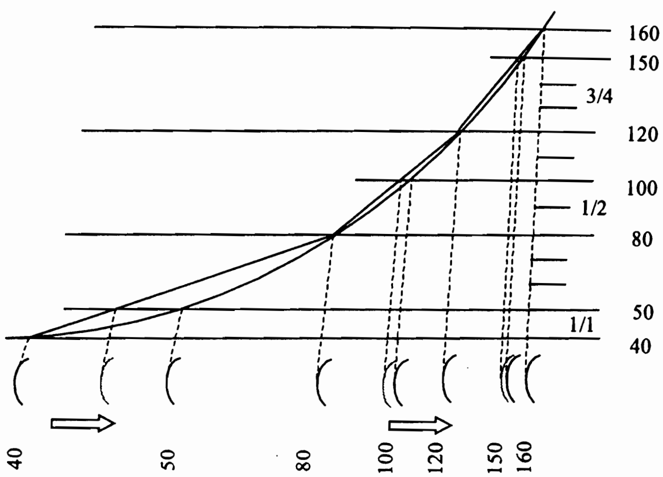


图 13.24　等高线的间隔大小可以显示地面坡度变化



图 13.25　正向地貌的化简方法——扩正压负

(二)“扩负压正”方法

即删除小山脊，扩大谷地。删除小山脊时，等高线是沿着谷地的源头“穿入”小山脊之中而把它“切掉”(图 13.26)。

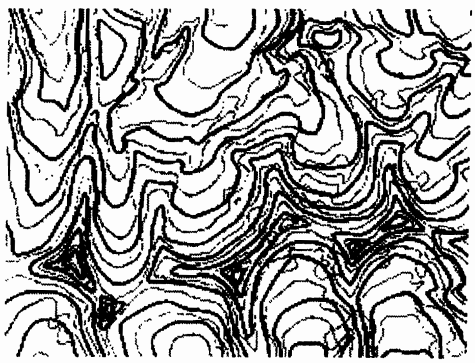


图 13.26　负向地貌的化简方法——扩负压正

三、谷地的选取

谷地的选取是地貌综合的重要组成部分，抓住谷地的选取就抓住了地貌综合的关键。谷地的选取，由数量指标和质量指标确定。数量指标主要用于控制谷地选取的数量，以反映不同地区地貌水平切割密度的对比；质

量指标是指谷地在表达地貌中的作用，主要用于控制谷地选取的对象。

(一) 谷地选取的数量指标

1. 谷间距

谷间距是指两相邻谷底线之间的距离。谷间距的作用是控制谷地的选取数量。谷间距的选取指标一般为 2～5mm。其中 2mm 是保证地貌清晰性的最低限值，5mm 是保证地貌详细性的最高限值。

2. 基本斜坡数量

基本斜坡是指由地貌结构线所围成的斜坡，称为基本斜坡。随着比例尺的缩小，谷地被舍去，基本斜坡数量减少。由一种比例尺变为另一种比例尺时，基本斜坡数量的变化规律如表 13.1 所示。

表 13.1 基本斜坡的变化规律

基本斜坡数变化范围	比例尺		
资料图比例尺	1∶20 万	1∶50 万	1∶100 万
	30%～60%	10%～20%	5%～10%
说明：该规律假设 1∶10 万比例尺地图上基本斜坡数量为 100%			

3. 谷地选取比例

通过统计分析，发现相邻比例尺地图上谷地数量成某种比例关系，如表 13.2 所示。

表 13.2 谷底选取比例

谷底选取比例		$M_a : M_b$	
		1∶2	2∶5
切割密度	密	1/3	1/5
	中	1/2	1/4
	稀	2/3（个别为 1）	1/3

4. 用开方根公式计算谷地选取数量

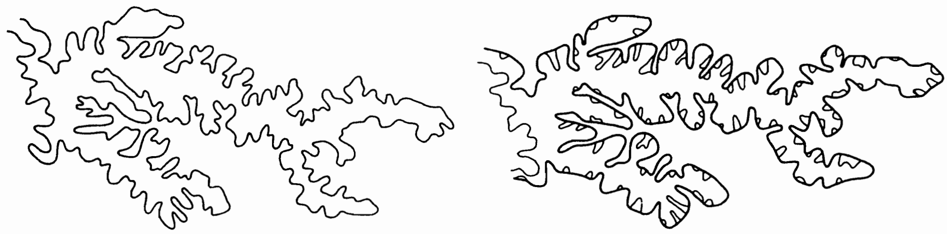
按地面水平切割程度（稀、中、密），将谷地的重要性划分为重要、一般和次要三个等级，取不同的 x 值，只要已知 N_a，即可按下式算出 N_b：

$$N_b = N_a\sqrt{(M_a/M_b)^x}$$

(二) 谷地选取的质量指标

要正确实施谷地的选取，除了规定选取的数量指标外，还要研究选取谷地的

质量指标，也就是根据谷地在表达地貌中的重要性确定选取哪些谷地。例如显示山脊走向的谷地、汇水谷地、有利于保持水平切割密度对比的谷地等，如图 13.27、图 13.28、图 13.29 所示。



资料图　　　　综合图（放大）

图 13.27　保留构成鞍部的对应谷，显示山脊走向



说明：应根据山脊形状及汇水地形本身的特征，逐级选取谷地

图 13.28　保留构成汇水地形的谷地走向

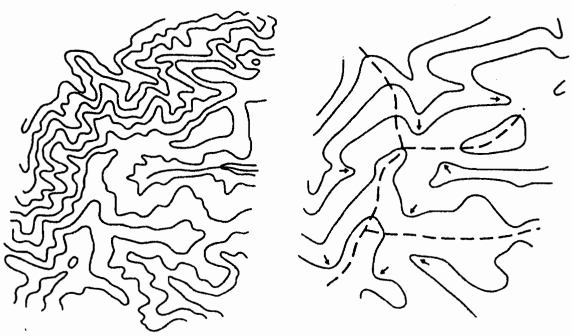


图 13.29　选取山脊延伸方向两侧的谷地（箭头所示）

四、山头的选取与合并

山头的取舍和合并视山头所处位置及表示山头的等高线数量而定。一根等高线表示的小山头，彼此间隔小于0.5mm时，属下列情况之一者，均可合并表示：①主要山脊上的小山头；②顺山脊延伸方向分布的小山头；③沿共同基底延伸方向分布的小山头；④连续分布的条状小山头。

属下列情况之一者，只能取舍，不能合并：①无明显延伸方向的圆形孤立小山头；②两条以上等高线表示的小山头；③位于山体斜坡上的小山头。

五、地貌符号和高程注记的选取

（一）地貌符号的选取

在地形图上用等高线无法表示的那些形态小、变化快、具有特殊结构的微地貌，一般改用地貌符号来表示，包括点、线、面状三类地貌符号。

1. 点状地貌符号的选取

点状地貌符号又称独立微地形符号，属于定位符号，如溶斗、孤峰、火山口、山洞等。图上表示时着眼于目标、方位及障碍作用的大小进行选取，并显示其分布密度。

2. 线状地貌符号的选取

线状地貌符号是指符号的一边或符号的中轴为线性，又称剧变地形符号，如冲沟、干河、陡石山、崩崖、陡崖、岸垄、冰裂隙等。这些地形受内外力强烈作用，坡度大，不稳定，规模大小不等，用等高线无法表示，大多数能依比例尺表示其分布范围、长度、宽度和高度（比高）。描绘这些符号时必须注意与等高线的密切配合处理图形关系。

3. 面状地貌符号的选取

面状地貌符号又称区域微地形符号，如沙砾地、戈壁滩、石块地、盐碱地、龟裂地、平沙地、冰碛、冰塔等。这类成片分布的面状地貌符号，显示区域微地貌形态特征、通行难易和土质状况。有的为复合型组合符号，如大沙垄上叠置波状小沙垄。

选取地貌符号时，可按分界尺度选取，也可按其军事意义选取，还可按其景观特征选取。

（二）地貌符号的转换

随着地图比例尺的缩小，资料图上原来以等高线表示的地貌，可转换成地貌符号。如用等高线表示的溶蚀洼地，比例尺缩小后改为溶斗符号；陡壁冲沟谷地

配有等高线，比例尺缩小后改为双线冲沟符号，舍去等高线，比例尺进一步缩小则改为单线冲沟符号；用等高线表示大型沙山、沙丘，最终都转换为沙地符号；风蚀残丘由等高线图形变为“小水滴”符号，最后又变成“小蝌蚪”符号；陡崖由依比例尺表示向不依比例尺转化等。

（三）高程注记的选取

高程注记包括高程点的高程注记、等高线的高程注记、地貌符号的比高注记。

高程注记可以提供地面绝对高程和相对高程数据，配合等高线获取地面任意一点的高度、坡度、地面切割深度、山岳结构、地表起伏和倾斜方向。高程点的高程注记应着重选取：测量控制点和注有山名的高程点；独立山岭；著名山峰；分水岭上的顶峰和山隘；图幅最高点；岛屿最高点；平原地区的分水地带；盆地、洼地的最低点；大河交叉处；大湖岸边等。

对于高程点注记的选取数量，各种比例尺地形图编绘规范都有规定。通常每 4cm^2 内选 1 个。地形复杂而破碎的地区应多选些，地物和方位物较少的地区，以及等高线不能充分显示地貌形态的平原、丘陵地区也应多选一些。

等高线高程注记的选取数量，通常每 100cm^2 内选 1～3 个。可配置在山麓地带，较大谷底的谷坡上，能控制地貌轮廓的等高线上（如高原边缘的等高线，阶地和台地最上、最下一条等高线）。注记字头朝向高处，尽可能避免配置在北坡，造成字头倒置，也不要选注在谷地、山脊等高线的急骤转弯处，应选择较平缓的斜坡地段。

六、实施地貌综合的方法与步骤

（一）分析地貌形态特征

分析资料图上地貌的真高和比高，山岳结构、山脊线的走向和分支，地貌的成因类型，地貌的斜坡、谷地和山顶等基本形态特征，地貌的水平切割密度及其分区。

（二）勾绘地性线（地貌结构线）

地性线包括山脊线、谷底线、山棱线、山麓线。勾绘地性线的本身就是分析地貌特征和拟定综合方案的思维过程，是保证地貌综合质量的有效手段之一。

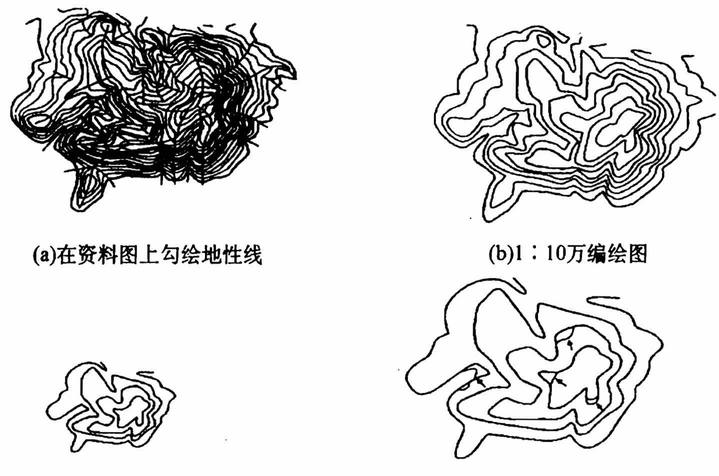
（三）编绘对地貌有控制意义的等高线

所谓对地貌有控制意义的等高线，指的是确定某一地貌单元的范围和上下边

缘的等高线，反映分水岭走向和形态特征的山岭、山顶、山峰的等高线。

（四）编绘其他等高线

在认识坡面形状、陡缓特征、谷地形态的基础上，按斜坡分组编绘其他等高线，保证等高线能反映地貌的特征。图 13.30 是地貌综合实施步骤的示例。



(a)在资料图上勾绘地性线　(b)1：10万编绘图

(c)1：25万编绘图　(d)1：25万地图的放大图

图 13.30　地貌综合方法与步骤

第三节　植被要素制图综合

植被也是地形图的基本内容之一，在军事、经济及环境保护等方面都有着重要的实际意义。

在军事上，植被利于部队伪装和隐蔽行动，但在密林中，由于通视不良、能见度低、缺少方位物，也会给通行带来困难。植被是多种轻工业和工程建筑不可缺少的重要材料来源之一，与人们的生活有着广泛而密切的联系。在工业发展对环境污染和人民健康威胁日益严重的今天，植被对保护环境、维持生态平衡、蓄水保土、防止风沙、调节气候等都有十分重大的意义。

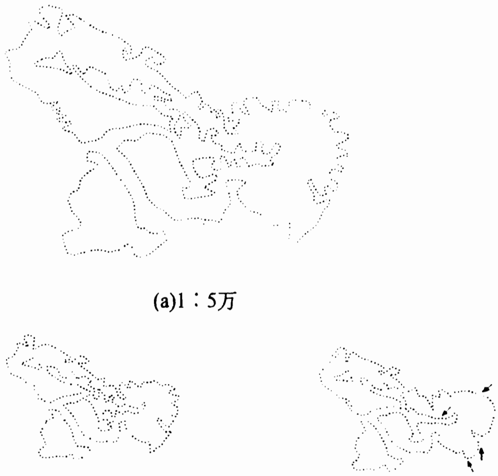
在地形图上用套色和配置符号及说明注记表示植被的范围、性质及各种数量特征。

一、植被轮廓形状化简

化简植被的轮廓形状，与化简一个封闭轮廓的制图物体（如湖泊）实质上是

一样的，因此可以采用形状化简方法。所不同的是，植被轮廓的形状允许作较大的化简，当碎部弯曲小于1.5mm×1.5mm时，便可删除。为保持轮廓线各地段弯曲程度的对比，小弯曲多的地方，可放大表示一部分小于分界尺度的弯曲。

图13.31为大面积植被轮廓形状化简示例（粗点标记特征转折点），其中：(a) 为1∶5万，特征转折点数为200个；(b) 为1∶10万，实际选取特征转折点数101个；(c) 为不正确的化简，过多地舍去了小弯曲，未保留特征转折点。按照选取规律公式算得1∶10万图上应选取特征转折点的理论数为99个，基本与实际选取数相符。较大的林中空地也可用类似方法化简轮廓。图上面积小于分界尺度（$10mm^2$）的，可改变性质，即并入植被（概念转换方法），但不宜合并过多。



(a)1∶5万　(b)1∶10万　(c)不正确化简

图13.31　大面积植被轮廓形状的化简

面积较小的植被，当其图上面积小于分界尺度时，不能全部舍去，而应分别采用选取、合并、夸大和改用小面积符号等方法，以反映图形破碎程度和轮廓特征。这里要注意的是，要防止不适当的合并（保持面积大小的对比）或不适当地采用小面积符号（因为小面积符号属定位符号，不宜转绘过多，否则影响图面清晰），如图13.32所示。

用地类界点子表示套色植被轮廓时，在明显转折处应配置点子。内部树种符号，视面积大小，可按比例尺放宽间距。

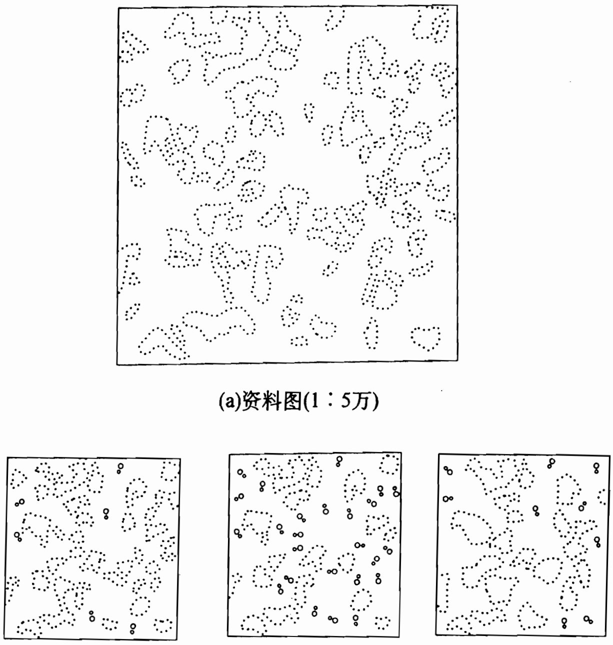
图上窄于1.5mm的条状林带可改为狭长林带符号表示。林带并排分布的地区，相互间隔不应小于2mm，为保持必要的清晰性，可减少林带的条数。

森林防火线犹如街网，化简方法类似。所不同的是，森林防火线图形概略，两道防火线间隔可保持3mm左右。

植被轮廓与其他要素（水系、地貌、道路等）的轮廓有明显联系的，化简形状时应保持其协调性。

二、不同性质植被的综合

这是质量转换的问题，主要表现为不同类别植被的合并表示。例如：由大比例尺地形图上植被的详细分类到中、小比例尺地形图上的概略分类；某种分布面积较小的植被并入另一种面积较大的植被之中；混杂生长的多种植被，根据内部

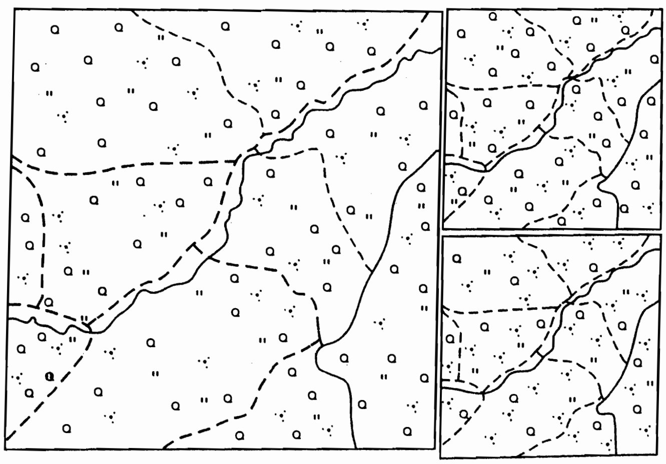


(a)资料图(1∶5万)

(b)正确的综合(1∶10万)　　(c)不正确的综合(1∶10万)

图 13.32　小面积植被的综合

注记与符号的数字及多少，决定图上哪种植被为主，减少次要植被的注记和符号（图 13.33）；取舍植被注记时，应选注代表性的 1 至 2 种注记（图 13.34）。

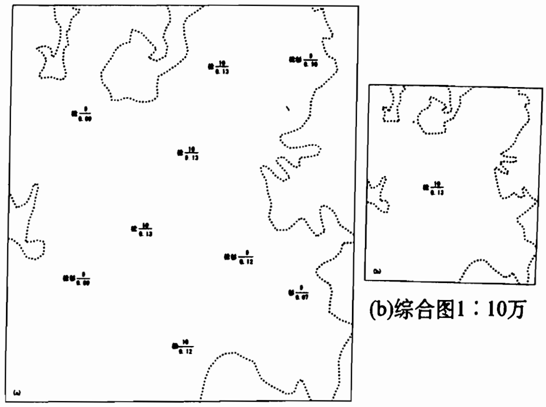


(b)正确的综合

(c)错误的综合

(a)资料图

图 13.33　树林中杂有灌木和草地



(a)资料图1∶5万　　(b)综合图1∶10万

图 13.34　植被注记的选取

第四节　居民地要素制图综合

居民地是人类活动的中心场所，在政治、军事、经济和文化方面都有很重要的意义。在军事上，居民地是部队行军、宿营、作战、判定方位、指示目标的重要依据之一。处于交通枢纽等重要位置的居民地对通行起着控制作用，也是飞行的良好地标。居民地的分布和数量，有助于判断地区的自然条件、土地利用、政治经济和文化发展状况等。

居民地在地图上的表现形式，主要是图形符号（平面图形和圈形符号）、名称注记、行政意义（注记的字体、字号或辅助符号）、人口数（不同大小或形状的圈形符号）。通过这些表现形式所能获得的直接解析信息主要有居民地的位置、形状、大小和分布密度，所能获得的直接语义信息，主要有居民地的内部结构（通行情况、街网几何形状、重要方位物、规划特征）、按人口数分级、行政意义和名称注记。

一、居民地平面图形的化简

居民地的平面图形是非常复杂的。但是，分析问题应当从最基本的方面着手。根据居民地内部的建筑和通行情况，可以将居民地的图形结构归纳为以下四种基本图形（图 13.35）。

任何一个居民地不外乎由以上几种基本图形组合而成。在化简形状时，总可以将一个复杂的图形“分解”成一块一块地进行。据此，将居民地的平面图形分为有街道居住区和无街道居住区两种基本类型。下面分别讨论其形状化简的

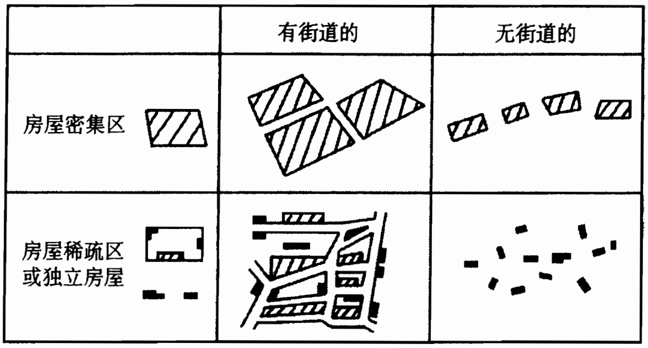


图 13.35　构成居民地的四种基本图形

问题。

(一) 有街道居住区的形状化简

首先，应该从内部结构和外围联系两个方面分析有街道居住区的图形特点。

内部结构主要指街道的通行情况、街网的几何形状和密度、房屋建筑和非建筑状况、重要的方位物等。关于通行情况，应弄清主要街道的分布和数量，通向重要目标或本身比较长的次要街道。它们既是交通干线，又是居民地平面图形的“骨架”。对于街网，主要搞清其平面图形特征，判别其为格状、放射状、格状与放射状组合和不规则形状等（图 13.36）。同时，还应分析街网密度，区别密（网密面积接近最小街区面积）、稀（接近或大于街区最大面积）、中（界于密、稀之间）。房屋建筑和非建筑状况。对房屋建筑状况，应区别房屋密集区和房屋稀疏区，以及少数情况下虽依附于街道但未被街道所包围的分散房屋；对于非建

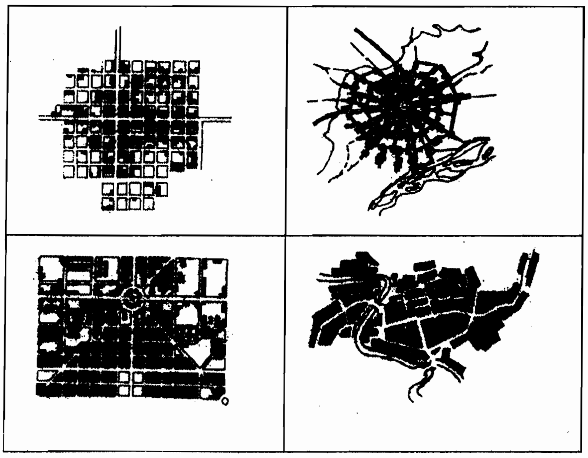


图 13.36　街网的几何形状

筑状况，应查清广场、空地、绿化地带、水域、耕作区、高地、城寨、沟壑等，因为它们对通行和障碍、筑城和防御、保护环境、防止污染都有一定价值。居民地内的方位物，应弄清其类别、分布和重要性。

外围联系主要指居住区四周的进出通道和所处环境。对于前者，应弄清有哪些进出通道及进出口有无障碍等：对于后者，主要分析居住区所处地形条件，因为它对于化简形状及处理相互关系影响较大。

了解有街道居住区的内部结构和外围联系等方面的特点，是为了在化简时有目的地反映这些特点。“认识”和“反映”不能脱节，这是要特别注意的。

下面讨论形状化简有街道居住区形状的方法和步骤。

1. 选取水系、控制点、方位物、桥梁、隧涵、车站、铁路及其附属物体

首先选取并描绘这些物体，主要保证它们的位置准确。

2. 选取主要街道和次要街道

选取主、次街道的基本原则是正确反映街道的通行情况和街区形状的基本特征。

选取主要街道，应根据基本资料上街道的宽度和进出道路的等级，也可参考其他专门资料（如城市交通图）。在主要街道太密的地方（如彼此间隔仅一两个街区），可以将这些短小的主要街道降级表示。

描绘主要街道，应保持宽度一致，中心线及拐弯处的形状和位置准确。只是在与相邻铁路、江河、海岸等位置发生矛盾时，才允许位移主要街道。

选取主要街道后，进而选取以下次要街道：①贯穿整个居民地或大部分居住区的次要街道；②连接码头、车站、广场、公园、外围道路及重要方位物的次要街道；③有利于保持街区形状和方向的次要街道；④有利于反映街网密度对比的次要街道。

选取主要街道和重要的次要街道后，就应转向顾及街区形状特征来取舍短小的次要街道。对于呈格网状和放射状的街网，应保持街道呈连续的直线或弧（折）线，不能人为地改成曲线（折）线。相反，对于不规则的街网，则不能任意拉直街道，避免使图形规则化（图 13.37）。

舍去街道的同时，也就合并了街区。应尽量不改变原来的纵、横方向（图 13.38）。街区外缘边线小于 0.3mm 的转折，予以删除。

合并后的街区，还应保持不同地段街网密度的对比，即街区数量或街区黑块大小的对比（图 13.39）。就街网数量的选取比例而言，街网由密到稀，选取比例逐渐增大，在街网密集区，选取比例可达 30%，而在街网稀疏区，选取比例甚至可达 100%。对于图形大小不相同的各个居民地来说，图形大的，合并后街区黑块较大，如大城市的街区黑块可达 $6mm^2$，中小城市街区黑块可达 $4mm^2$；图形小的，街区黑块较小，如农村有街道居住区，街区黑块一般小于 $4mm^2$。对

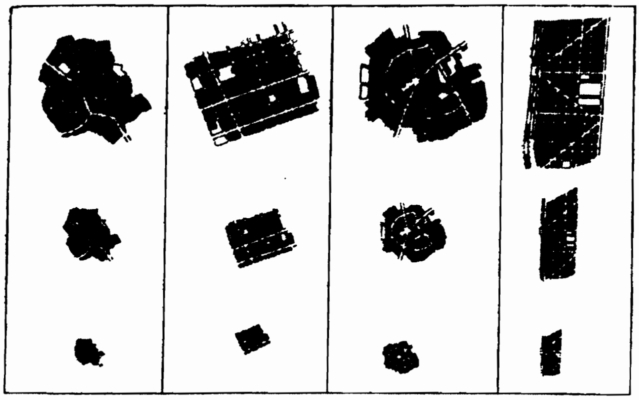


图 13.37　街网图形的化简

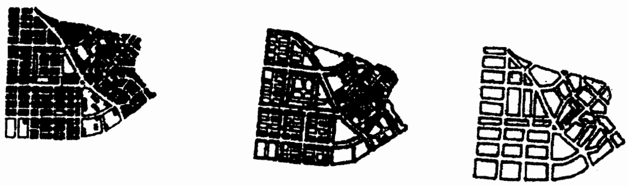


图 13.38　合并后的街区尽量保持原来的纵横方向

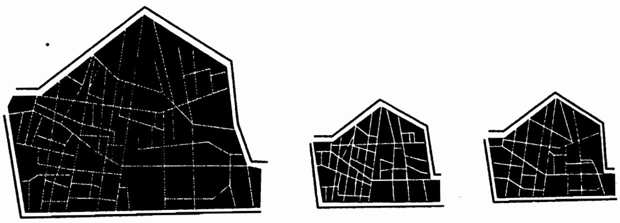


图 13.39　保持街网密度对比

于不同比例尺地图来说，大比例尺图上街区黑块可大一些；小比例尺图上街区黑块应小一些。

3. 涂黑街区，填绘符号

涂黑街区和填绘符号的基本原则，是正确反映建筑与非建筑状况。

选取街道后，构成了新的街区。对房屋密集的街区，应涂黑表示；对于面积大于分界尺度的空地、绿化地带、广场、高地等，均需保留；对于房屋稀疏地街

区，应保持其规划特征（依比例尺表示的建筑物可合并；小独立房符号与所依附的街道同时取舍，一般选取位于路口或拐角的建筑，并保持分布特点和数量对比；突出的大型建筑在所依附的街道舍去后，仍可保留）、建筑与空地面积的对比（仅当空地面积小于 0.5mm² 时，才允许并入建筑区内涂黑表示）。如图 13.40 所示。

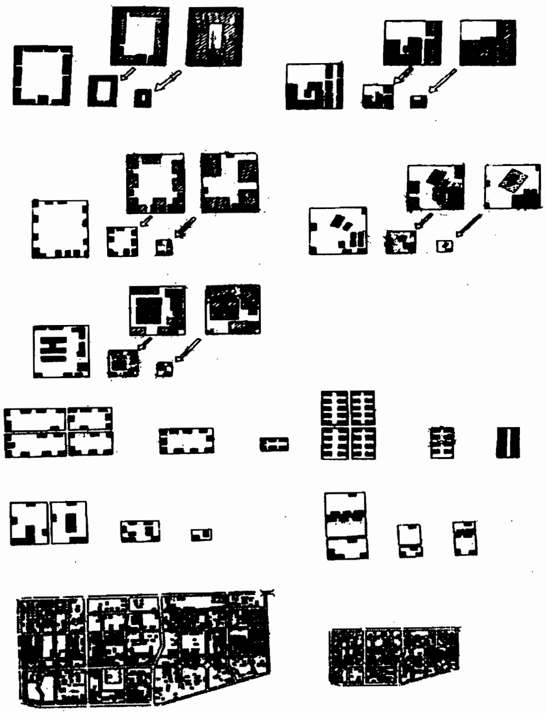


图 13.40　建筑稀疏街区的综合

4. 化简外围轮廓及其他

居民地的外围轮廓控制着居民地的总形状，小于分界尺度（0.3mm）的弯曲（转折）可以删除，但有特征意义的应夸大表示。外围的独立建筑物应注意其分布特征和数量对比。另外，还应处理好与其他要素的关系。

图 13.41 说明有街道居住区形状化简的程序。为从理论和实践上说明有街道居住区形状的化简，给出两组综合实例（图 13.42、图 13.43），可对照综合前后的图形进行比较。

（二）无街道居住区形状的化简

这类居民地的特点是，房屋稀疏，内部空地面积大，没有构成街道网，有时仅有一二条道路通过，故也称为分散式居民地。组成这类居民地的主要是独立房

屋和小面积街区。

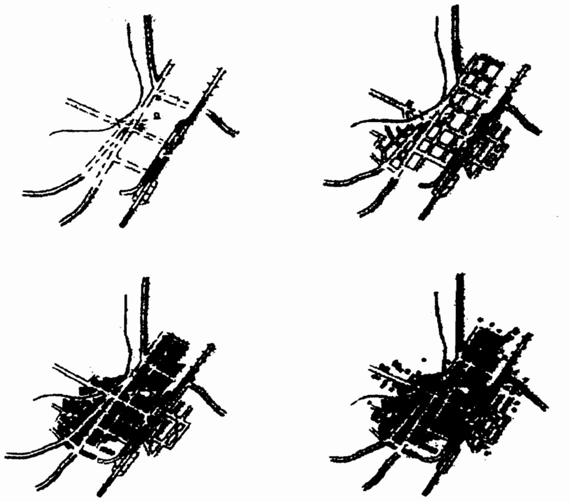
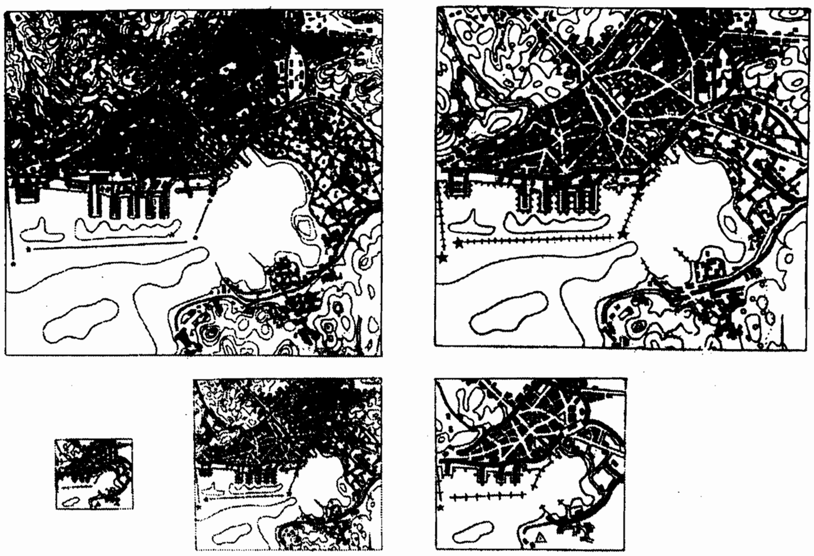


图 13.41　有街道居住区形状化简程序



图 13.42　有街道居住区形状化简示例之一



注：右图是放大图，便于和原图比较，比例尺分别为 1∶10 万、1∶20 万、1∶50 万

图 13.43　有街道居住区形状化简示例之二

化简无街道居住区形状的方法步骤如下：

第一步，选取小面积街区或中心位置的独立房符号。小面积街区或位于居民地中心的记号房屋符号应保持准确位置和方向(图13.44)。形状和方向有明显

联系的小面积街区可以合并，独立的小街区可改为记号房屋符号，但中心位置的小街区可夸大表示，记号房屋符号只取舍不合并。

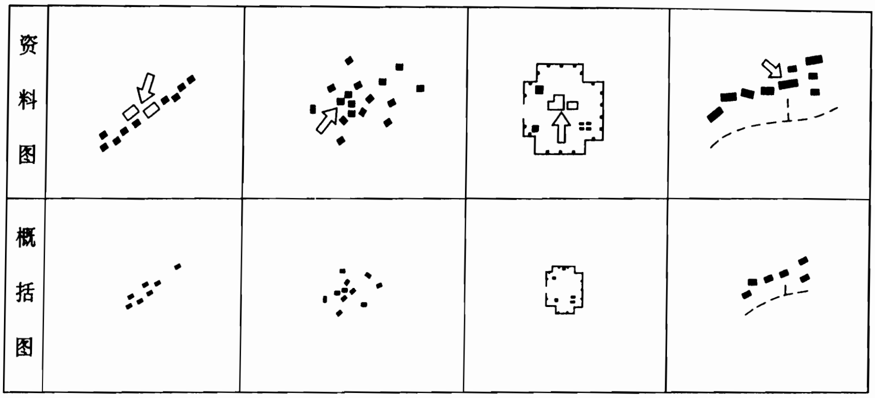


图 13.44　记号房屋的取舍

第二步，选取居民地外围轮廓特征处的记号性房屋符号。所谓外围轮廓特征处的记号房屋符号，指的是居民地最外围部分连线所形成的几何形状的特征转折位置上的记号房屋符号，如图 13.45 所示。

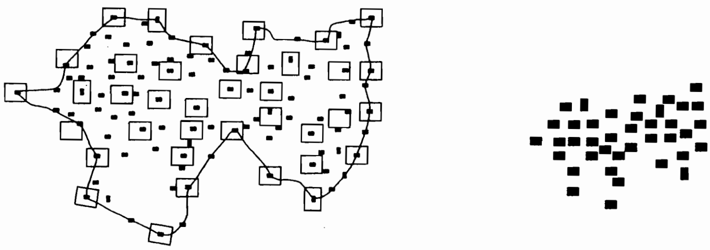


图 13.45　保持外围特征处的记号房屋符号

第三步，选取其他记号房屋符号。选取居民地中心及外围轮廓特征转折处以外的记号房屋符号时，应注意房屋符号的排列方向和不同地段的数量对比，符号的配置应视具体情况及与其他要素的关系而适当位移，但要保持其方向和相互关系正确（图 13.46）。

关于无街道居住区形状的化简，还有几个比较复杂的问题需要进行专门的讨论。这些问题是：

（1）密集分布的分散式居民地的综合

这类居民地的特点是密度大。随着地图比例尺的缩小，各居民地间隔变小，加之记号房屋符号占地面积不断扩大，名称注记压盖较大面积，使得各居民地之间的界限变得模糊起来。化简这类居民地应遵循以下原则：①坚持居民地图形和

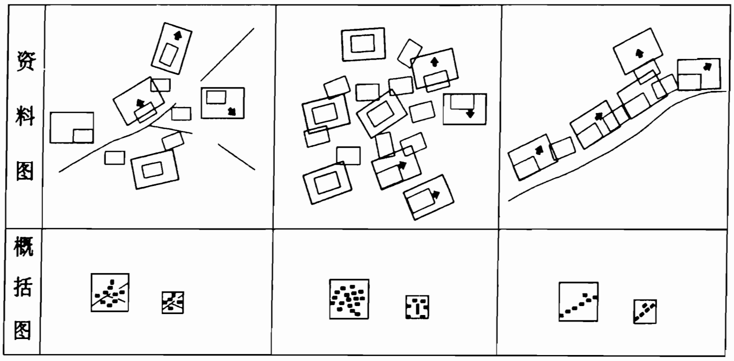


图 13.46　记号房屋符号的位移

名称注记同时取舍（图 13.47）；②保持居民地各自范围清楚和形状基本相似，凡界限不清者，可将临界处的房屋符号向两侧位移，或舍去个别房屋符号（图 13.48）；③实地房屋毗连成片有总、分名的居民地，可作为一个整体化简图形，取舍分名名称注记。

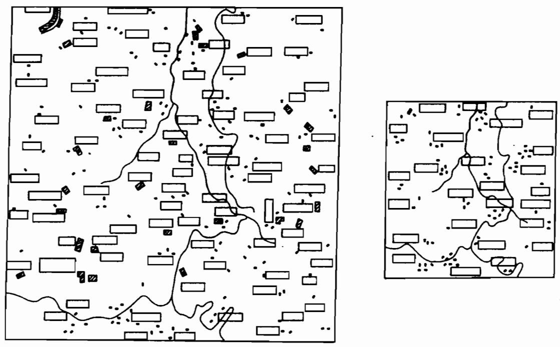


图 13.47　图形和名称注记同时取舍

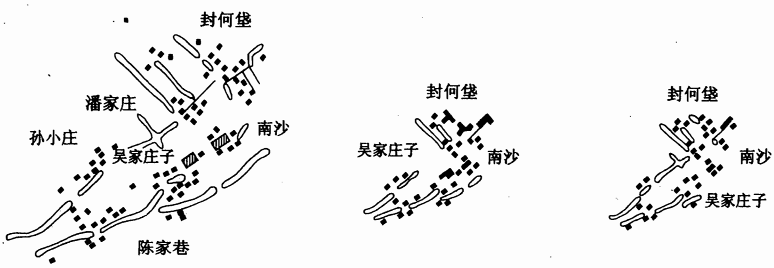


图 13.48　保持居民地各自范围清楚

对于范围不清的居民地，当其无法判别和分清时，可视为“区域特色”，把它视为一个大的分散式居民地群，着重表示好其中大的集镇、公社或村庄，然后按一定密度取舍名称注记和记号房屋符号。

(2) 黄土区窑洞居民地的综合

基本方法与综合分散式居民地相同。此外，尚需强调以下几点：①沿沟谷自然形状分布的分散式窑洞居民地，应尽量保持窑洞与谷地取舍的一致性，不使窑洞朝向山顶或山脊；②成排分布的窑洞，应控制两端位置，其间配置窑洞符号；③多层分布的窑洞，应首先选取上下两排，减少内部层数；④应优先选取位于水源附近和道路出入口处的窑洞。

(三) 居民地整个轮廓形状的化简

随着地图比例尺的缩小，居民地的平面图形越来越小。这时，即使是少数城镇还能用平面图形表示，那也只能是概略地显示整个轮廓形状了。

欲将一个复杂的居民地平面图形经过化简仅显示其整个轮廓形状，一般应采用以下方法：

1. 确定外围轮廓范围

原则上沿整个居民地外围都应列入轮廓范围以内。对于有街道结构的地段，不论房屋疏密均应划在范围以内；对于城郊的建筑面积大于 $4mm^2$、间隔大于 1mm 的可单独表示，间隔小于 1mm 的可并入城区，面积小于 $4mm^2$ 的则可舍掉。

2. 化简轮廓形状

化简轮廓形状的基本点在于保持总体图形的相似。对于外围线上小于分界尺度（$0.5mm \times 0.5mm$）的凸凹部可以删除，条状轮廓不得窄于最小尺寸(0.5mm)，外围轮廓呈折线或直线的部分应予保持。

3. 正确处理与其他要素的关系

被双线河分开的部分，各部分单独表示，并保持与岸线间隔 0.2mm；单线河或铁路穿过居民地时，居民地形状完整表示，单线河与铁路不间断地通过居民地；通过居民地的公路，只绘至轮廓边线上。

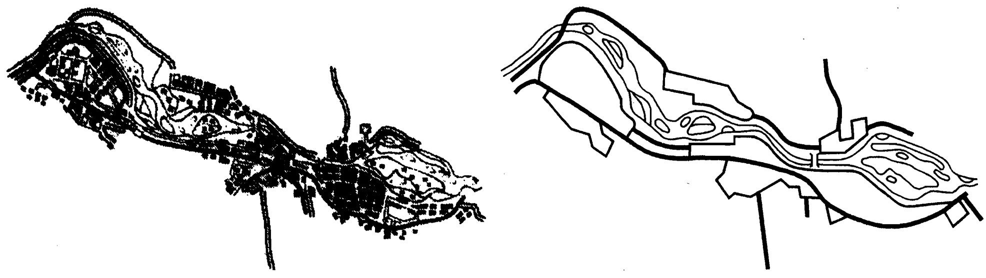


图 13.49　化简整个居民地轮廓图形

图 13.49 是化简整个居民地轮廓图形的示例。

(四) 用圈形符号表示居民地

用圈形符号表示居民地，这是表示方法上的一个质变，是地图比例尺缩小到一定程度的结果。这时，地图上的居民地已无形状意义，而只有位置和等级概念了。

由平面图形过渡到用圈形符号表示时，主要问题有两个：一是圈形符号的配置，二是与其他要素关系的处理。

圈形符号的配置，实质是圈形符号的定位，即确定居民地平面图形代表居民地的位置。考虑圈形符号定位的方便，我们约定以居民地整个平面图形的中心或其主要部分的中心作为该居民地的位置，圈形符号即配置在这个位置上（图 13.50）。

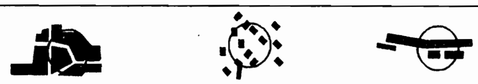
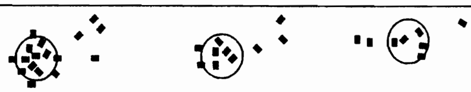
定位部分	图形及圈形符号的定位
(a)以平面图中心定位	
(b)以街区部分定位	
(c)以有街道部分定位	
(d)以较密集部分定位	

图 13.50　圈形符号的配置

居民地改用圈形符号表示后，它与其他要素的关系变得更为简单而明了，即表现为相通、相切、相离等基本关系。相通，即线状符号（如河流、道路）通过居民地，圈形符号的中心配置在河流及道路的中心线上。相切和相离与比例尺有关，根据绘图、视觉及印刷条件，我们规定在编绘底图上若居民地图形边缘与符号的间隔小于 0.2mm 时，以“相切”表示，即岸线、河流、道路绘出后，将圈形符号切于这些线状符号绘出；当间隔大于或等于 0.2mm 时，以“相离”表示。如图 13.51 所示。

二、居民地的选取

居民地的选取应解决选取数量和选取对象两个问题。这两个问题的解决方

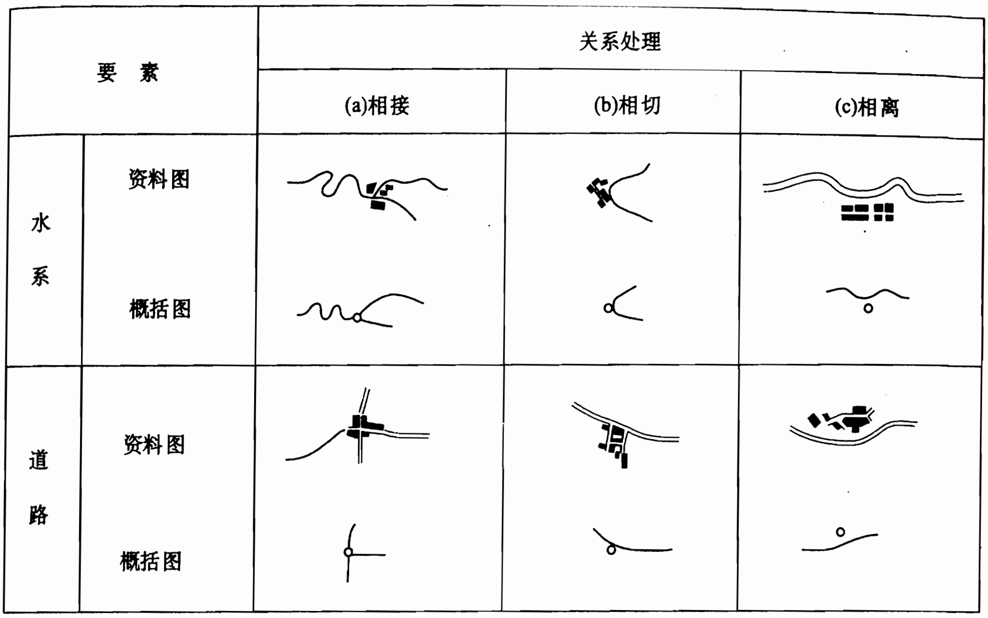


图 13.51　圈形符号与其他要素的关系

法，已在第十二章中作了详细讨论，一般采用按公式和按地物等级选取的组合选取方式，即按选取公式计算居民地数量，按居民地等级（等级编码和总分级值）确定选取对象。

关于确定居民地的选取数量，这里仅简要叙述应达到的两个基本要求，即详细和清晰性的统一与反映不同地区居民地密度对比。

详细性和清晰性是互相联系又互相制约的，在实际作业中应力求做到充分的详细性和必要的清晰性。一般做法是，对最高容量用清晰性加以限制，即图上选取的居民地必须达到注记指示明确、各要素关系清楚、无严重压盖、易于阅读的效果。在不超过极限载负量的条件下，可以通过调整符号与注记的尺寸来增加居民地的选取数量。对最低容量用必要的详细性加以强调，如规定居民地密度在某个数值以下的地区，可选取全部居民地，就是考虑尽量详细这一因素。

由于各种原因，不同地区的居民地密度是有差异的。确定图上选取居民地的数量时，也应反映实际存在着的这种差别。但是，也应看到，随着比例尺的缩小，这种差别也会越来越小，一旦居民地达到饱和容量时，彼此差别就很小了。所以，地图上只能反映居民地密度的相对对比，即既保持差别，又缩小差别，但不能出现倒置现象。图 13.52 说明某地四个密度区在四种比例尺地图上居民地选取数量变化的正确对比。

确定居民地选取对象，在实际作业中通常是这样的：首先规定一个全取标准（界限），全取标准以上的全部选取，以下的按条件选取，直至达到预先规定的

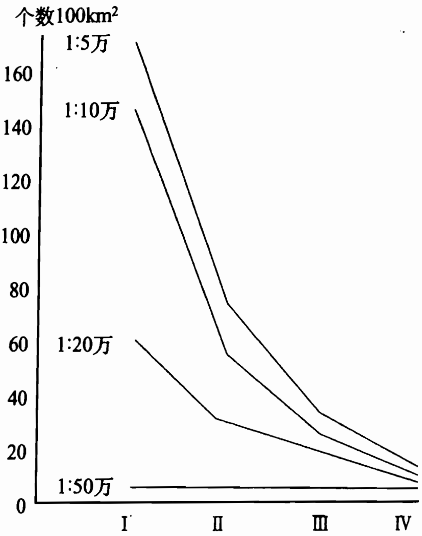


图 13.52 居民地选取数量变化

数量。

所谓按条件选取，即指按居民地的军事、政治、历史、经济、文化意义及人口数、图形大小、群体特征等条件选取。军事主要指军事设施和所处位置的目标、方位和控制意义；政治历史主要指具有特殊意义的革命纪念地；经济指工矿企业所在地和矿藏资源开采地；文化主要指名胜古迹；群体特征即居民地的密度对比和分布特征。在按条件选取时，应该通过比较，选取那些军事、政治、历史、经济、文化意义较大，或图形较大，或有利于反映密度对比和分布特征的居民地。

三、居民地名称注记的选取与配置

按照居民地名称和图形同时取舍的原则，单就居民地名称应该说是不存在取舍问题的。舍去图形，名称注记当然不存在；选取图形，名称注记亦应选取。这是一般情况。

但是，在某些特殊情况下，也允许选取图形而舍去名称注记。例如：居民地毗连成片很难分清各自的范围，或由于主观原因已造成既成事实的居民地范围不清，这时，为了既反映居民地的分布特征，又保持图面清晰，可以保持图形的实际状况，而舍掉次要名称注记（图 13.53）。

在有“总名”和“分名”的地方，“总名”所包括的各居民地间不论界限是

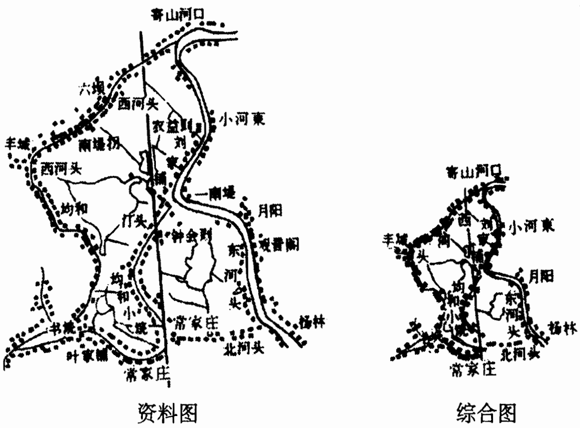


图 13.53 保持图形的实际状况，舍掉次要名称

否清晰，均可保留“总名”，取舍“分名”，化简整体图形或孤立分布的图形。若“总名”指示范围太大，且“总名”指示的意义不大时，可舍去“总名”，至于每个“分名”亦可进行取舍（连同图形）。

配置居民地名称注记的基本原则，是指示明确、易于阅读。据此：第一，应配置在最有利的位置，如位于图形的右边或上边，实在不行时才是下边和左边；第二，居民地名称注记与所指示的图形之间，应保持最小间隔 0.3mm；第三，名称注记拉开配置的，字向、字距、字列应符合要求，即字向不变、字距相等，字列与居民地图形特征相应；第四，居民地名称注记不得压盖重要地物点或线状地物的特征点；第五，沿行政境界尤其是国界两侧分布的居民地，名称注记应配置在居民地同侧，使其归宿隶属更加明确，沿河流尤其是大河流两侧分布的居民地，其名称注记配置亦尽量如此，如图 13.54 所示。

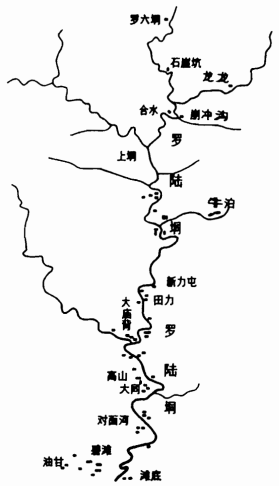


图 13.54　沿线状物体分布的居民地名称注记的配置

第五节　交通运输网要素制图综合

交通运输无论在军事、政治和经济等方面都有重要意义。它是部队行动和运输的重要保障，是国内各地区之间及同国外进行政治、文化、经济交往的重要条件，是发展国民经济，沟通供、产、销三者关系的重要因素。

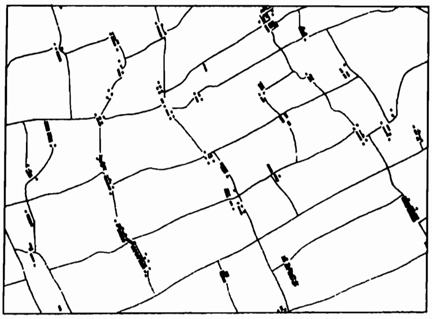
地图上表示的交通运输网包括陆上交通（铁路、公路等）、水上交通（海洋、内河航线和港口及通航起讫点）、航空、运输管道（油、气管道）和高压输电线等内容。其主要表现形式是各种线状符号、指示符号和注记，为用图者提供某些直接解析信息（如位置、形状、距离等）和直接语义信息（如类型、等级及其他质量和数量特征）。

一、道路的综合

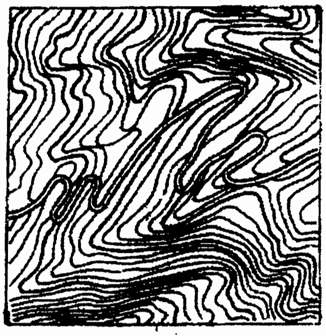
（一）道路的形状化简

道路的形状与道路的类型和地形条件有关。地图上的道路通常可以分为铁路、公路和其他道路。铁路平直圆滑，公路可有折角和急弯，其他道路基本依附于地形。平原地区的道路一般比较平直，多呈直线状或折线状 [图 13.55 (a)]；山区道路有的绕行于谷地之中，有的呈螺旋形弯曲，有的呈“之”字形“弯曲”

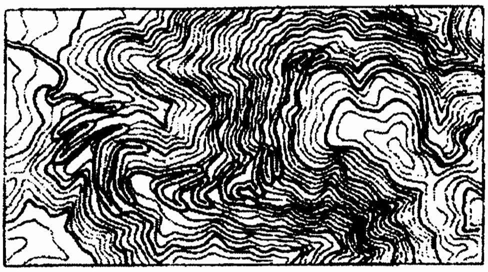
[图 13.55 (b)]；沿海、湖的道路形状受地貌与岸线的影响，当地貌等高线与岸线弯曲一致时，道路的形状多与岸线弯曲一致，特别是岩岸地段，这一特点更为明显 [图 13.55 (c)]。



(a) 平原地区道路



“之”字形弯曲



螺旋形弯曲

(b) 山区道路



(c) 沿海岸道路弯曲特点

图 13.55　道路形状受地形的影响

前面所介绍的形状化简的方法同样适用于道路形状的化简。这里，针对道路自身的特点，说明化简道路形状的具体方法：

1）取舍道路弯曲的分界尺度一般为 0.5mm×0.5mm，即内部空白小于分界

尺度的最小弯曲一般舍去。

2）对于虽然小于分界尺度但具有特征意义的弯曲，或夸大（到分界尺度）表示，或共用边线［图 13.56（a）］，或者减少弯曲次数（在弯曲太多，无法共用边线时，删除和夸大方法同时采用［图 13.56（b）］。



图 13.56　化简道路形状的几种方法

（二）道路的选取

道路的选取，主要根据道路的数量指标和质量指标进行。

选取道路的数量指标，可以用道路网眼大小和网眼数来控制。道路网眼大小，即道路围成的封闭图形面积的大小，通常以平方厘米为单位。根据详细性和清晰性的要求，在小型居民地稠密地区，网眼大小为 1.0～1.5cm^2；在大型居民地稠密地区，网眼大小为 1.5～2.0cm^2。

道路网眼数可以用两种方法确定。一是在确定新编地图上道路网的密度系数 K 之后，根据公式 $K=2/\sqrt{P}$（$\sqrt{n}-1$）反算应该选取的网眼数 n；二是利用相关分析法，根据新编地图上选取居民地的数量来计算应选取的道路网眼数，因为道路的选取总是服从居民地的选取的。

选取道路的质量指标，实质上是解决选取哪些道路的问题。为解决这个问题，首先规定一个全取界限，如规定某地区大车路以上的道路全部选取。显然，全取界限以上的道路不应超过既定的选取数量指标，不够的部分再按一定条件从低级道路中选取，例如：①作为行政分界的道路；②通向国界或沿国界的等级最高或唯一的道路；③通向沙漠区水源的唯一道路；④穿过湖沼区的唯一道路；⑤通向车站、码头、机场、港口、渡口、山隘的道路；⑥通向重要地物、制高点、边防哨卡及其他军事目标的道路；⑦便于军队实施隐蔽、集结和机动的道路（如森林、铁路、林间路及高级道路附近便于战时实施机动的道路）；⑧有利于反映道路网平面图形特征的道路（如北方平原区多为规则的网格，行政或经济中心附近多为放射状——呈扇形，丘陵地区多为不规则的网状等）；⑨选取能反映道路网密度对比的道路等。

除此以外，还有几个特殊地区道路的选取尚需讨论。例如：城市郊区及工矿区的道路网密度稠密、纵横交错、交叉很多、长短不一，多高级道路，主要为铁路、公路。选取时应注意：①选取能控制道路网分布范围的道路，如大工矿外围和中间的道路；②根据主次及会让关系，选取大铁路枢纽的主干线，选取连接主干线的外围岔道，中间的支岔则根据密度选取；③若干条支岔需要取舍时，应选取延伸长的、有车站的、通向重要工矿的支岔。

黄土地貌区的道路，除少数高级道路分布在有河流的开阔谷地外，大部分道路分布在梁或塬上。从梁上向下通向居民地或穿过谷地多为乡村路或小路。选取时应注意：①首先选取高级道路；②然后选取位于梁、塬上的道路；③最后选取连接两梁的道路。

（三）道路附属物的选取

道路附属物在军事上有重要意义，战时多是敌我双方争夺的重点，也是破坏和保护的重点。关于道路附属物的选取问题，有关规范中均有相关的规定。这里讨论几个主要问题：

1. 车站符号的转换和选取

火车站包括站内铁路、房屋建筑及附属建筑物（信号灯、柱和天桥）。在大比例尺地形图上，一般用平面图形表示。当比例尺缩小后不能用平面图形表示时，则改用车站符号表示，此时车站符号应绘在主要站台的位置上。随着比例尺的进一步缩小，要对车站进行取舍。一般是优先选取主要车站（根据车站所处的位置及与周围的联系，参考铁道部门的专用图和列车时刻表、军事交通图等），舍去次要车站。

2. 桥梁的选取

桥梁的选取应与道路的选取相一致。在大于 1∶10 万比例尺地形图上，双线路上的桥梁一般要保留，但间隔小于 0.5cm 时，允许舍掉个别桥梁，桥梁注记应选取载重吨位最小和最大的；在中、小比例尺地图上，只表示一些大型的重要桥梁，如单线河上的双线桥。

3. 隧道的选取

隧道是影响通行而又起隐蔽作用的附属物体，一般山区隧道均保留，太密时可舍去少量记号性隧道符号。

4. 路堤、路堑的选取

在大比例尺地形图上，路堤、路堑有一定方位意义，表示较详细。在中、小比例尺地形图上，只能选取达到一定长度的路堤、路堑。

5. 渡口的选取

渡口影响通行和运输的速度，在军事上有重要意义，因此在大比例尺地形图

上，一般应全部表示火车轮渡、汽车轮渡的渡口；通行困难地区的人行渡口也需表示。在中比例尺地形图上，人行渡口选取少量重要的。小比例尺地形图上，车渡一般也不表示了。

二、水上交通线的表示

水上交通包括海洋航线和内河航线。海洋航线由航行线和港口标志组成。航行线表示近海和远海的定期航线，近海航线沿大陆边缘用弧线绘出，远洋航线通常按两点间的大圆航线的方向描绘。表示的航线要绕过岛、礁和危险区，相邻图幅的同一航线方向一致，并注出起、终点名称与里程。

港口符号应尽量表示。

灯塔、灯柱等按规定的灯光射程选取。

内河航线除了表示通航起讫点外，还应区分定期通航和不定期通航的河段，表示具有船舶通行建筑水利枢纽工程及可通行的吨位。

三、其他交通运输要素的表示

管道运输是现代化工业发展的显著标志，地图上用管道符号及说明注记区分管道输送物质（如油、气等）。

高压输电线在大比例尺地形图上用符号和说明注记表示输电强度，在中、小比例尺地图上只表示符合规范规定的输电强度的高压电线。

航空标志在普通地图上只限于表示国外的机场，在我国领土上规定不表示任何航空标志。

第六节　境界要素制图综合

境界是国与国之间和国内各级行政单位之间领土的界限。它是社会政治行政标志的重要内容之一，具有很强的政治意义和行政管辖意义。

我国地图上表示的境界有：国界（含未定国界）；省、自治区、直辖市界；自治州、盟、省辖市界；县（含县级市）、自治县、旗界。

地图上一般以不同的点线符号表示不同等级的境界；在小比例尺地图上，为了使境界符号更加明显突出，除使用点线符号外，还要套印一定宽度的色带（通常为紫色）。

一、地图上表示境界的一般方法

1）境界的直线段应依直尺精确绘出，转折处或交汇处应用点子或实线绘出，保证境界的定位精度（图 13.57）。

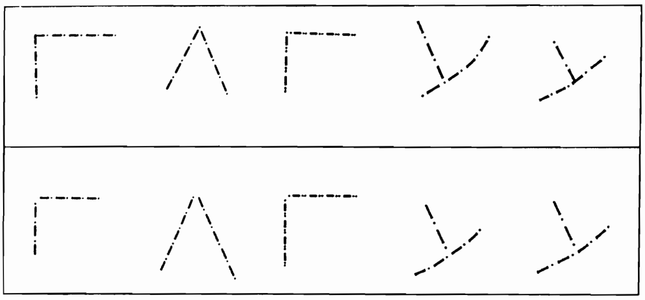


图 13.57　境界线的转折与交汇（上——正确，下——错误）

2）陆地上不与线状地物重合的境界应连续绘出，其符号的轴线位置应保持不变。

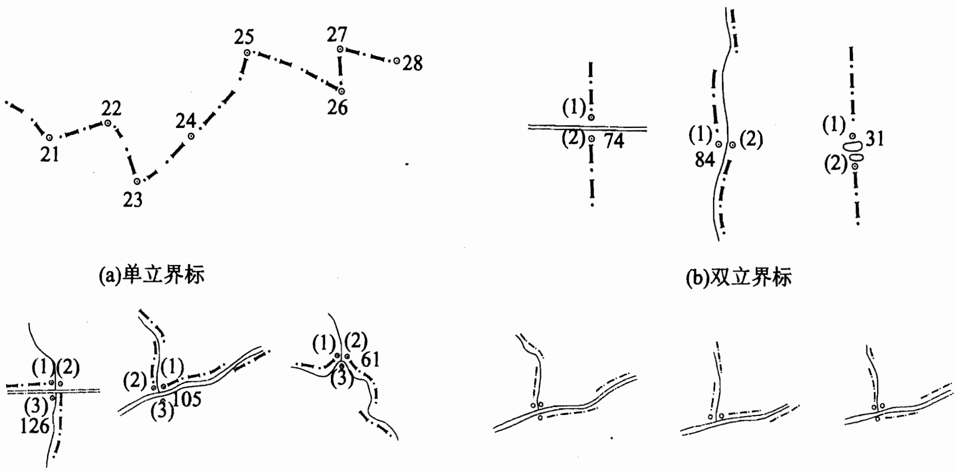
3）不同等级的境界相重合时，只绘高级境界线，省略低级境界符号。

二、国界的表示

国界的绘制应以我国政府公布或承认的正式边界条约、协议、议定书及其附图为准。国界本身位置精度要高，与其他要素的相互关系要准确明了。

1）化简国界形状时，应尽量保留小弯曲和转折点，无法表示的应予删除，不能夸大。

2）保持国界界标的准确性。国界界标（界桩、界碑）包括单立、同号双立和同号三立界标。单立界标［图 13.58（a)］是国界通过的真实位置，一般设立在转折处或有重要意义的位置上；双立界标［图 13.58（b)］是国界线穿过道路、河流、湖泊两侧树立的界标，双立界标的连线中点是国界的真实位置；三立界标



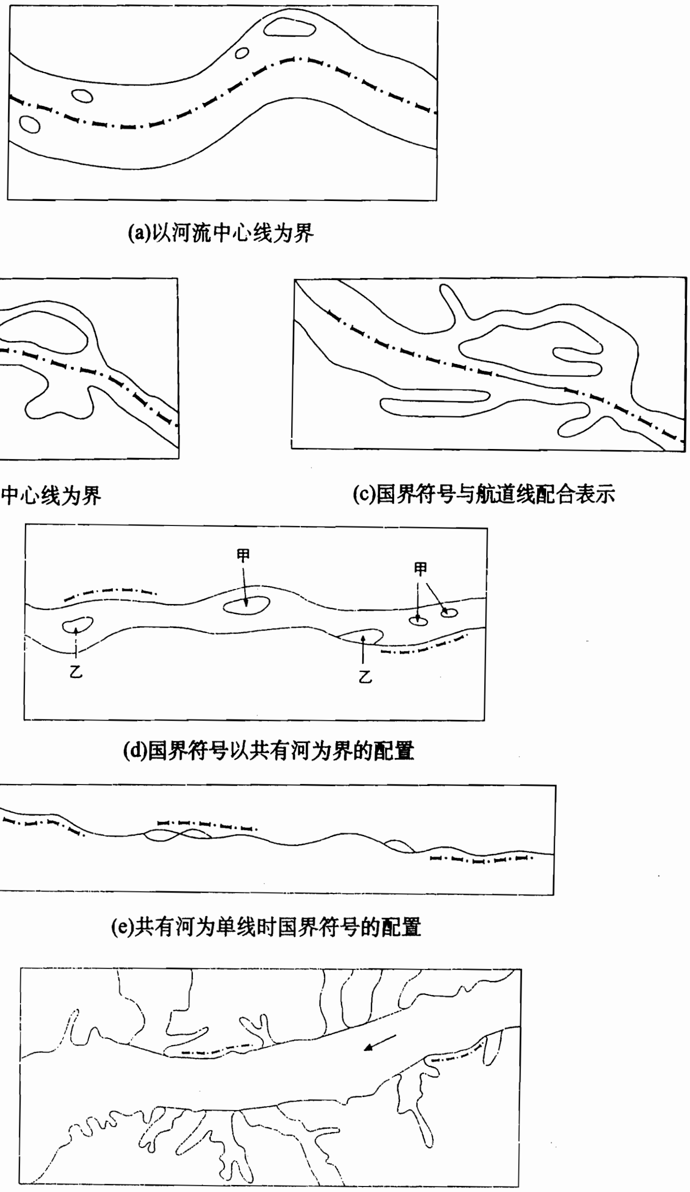
(a)单立界标　(b)双立界标

(c)三立界标　(d)界标的取舍（中一错误）

图 13.58　国界界标的表示示例

[图 13.58（c）] 是国界通过河流交叉口或道路与河流交叉口时树立的界标。在比例尺缩小后，表示同号双立或三立界标有困难时，可按空心小圆圈按实地关系位置绘出；当图上双立或三立界标密集时应成组取舍，不允许舍掉其中一个或两个，否则会造成国界中心偏移 [图 13.58（d）]。

3）国界沿河流延伸的，应按不同情况配置其符号。以河流中心线为界、河内能绘下符号的，应在其中心不间断地绘出，并分清岛屿的归属 [图 13.59



(a)以河流中心线为界

(b)以主航道中心线为界

(c)国界符号与航道线配合表示

(d)国界符号以共有河为界的配置

(e)共有河为单线时国界符号的配置

(f)界河与国内河、湖交汇处绘出界河范围

图 13.59　国界沿河流延伸时的表示方法示例

(a)]；河内绘不下的，应在河流两侧不间断地交替绘出符号（每段 3～4 节），岛屿用附注标明归属。以主航道为界的（指通航的河流或河段），国界符号在主航道的中心绘出［图 13.59（b)]，在大比例尺地形图上，以国界符号配合航道线表示［图 13.59（c)]。随着比例尺的缩小，当河流符号太窄或变成单线时，国界符号在河流两侧不间断地交替绘出。以共有河为界的（河流属两国共有），国界符号不绘在河内，而是在河流两侧每隔 3～4cm 交替绘出一段（每段 3～4 节），岛屿用附注标明归属［图 13.59（d)]；当河流符号太窄或变成单线时，在岛屿所属国家的外侧绘出国界符号［图 13.59（e)]；当共有河界与国内河流、湖泊出口汇合处的河口较宽时，用黑线标出国界河的范围［图 13.59（f)]。以河流一侧为界的，国界符号在相应一侧不间断绘出。此时，靠近邻国的河流水涯线是国界的真实位置，国界符号只起说明作用。

4）国界沿山脊、山谷延伸时，应沿山脊、山谷绘出国界符号，保持国界通过其所在的山头、鞍部、山脊、山谷的中心位置不变（图 13.60)。



图 13.60　以山脊为界时国界符号的配置

5）国界线上的独立地物，一般应表示，密集时可删除一些无特征意义的，地物的实地中心绘在国界线上（图 13.61)。

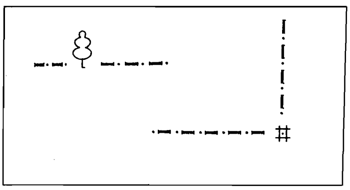


图 13.61　国界线上独立地物的表示

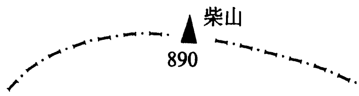


图 13.62　共有山名的处理

6）国界线上及其附近的地形、地物名称的处理。国界线上及其附近的地形、地物名称，特别是国界条约协定中指出的作为划界依据的山名、河名、村名等，应在保证清晰的条件下，尽量都表示。选取的名称要与条约附图取得一致，若与新测地名不一致时，可将边界条约幅图的用名作为副名括注。凡属一国所有的地物，其名称应各自注在本国境内。凡属两国共有的界山、界河、界标等名称，一

般将名称和高程或编号分别注在两国境内。如两国山名相同，可将名称注在我国，高程注在邻国（图 13.62），或相反。界河名称相同时，可交替注出。穿过国界线的河流、山脉名称，可分段注在各国境内。如两国名称相同，河流或山脉在图上又较短时，可跨越国界线注一个（图 13.63）。

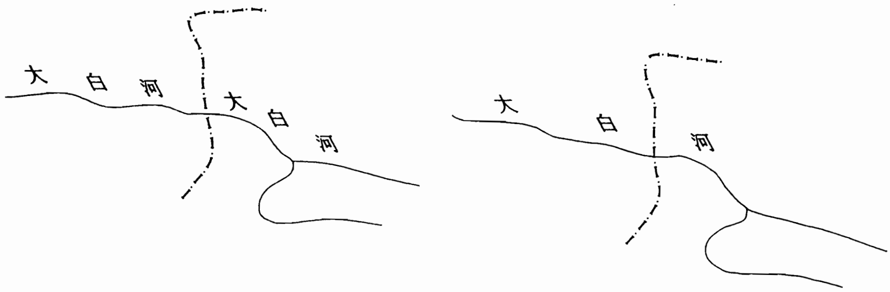


图 13.63　穿越国界的河名的处理

7）水域中的国界（如我国台湾省、南海诸岛等）的表示，以我国正式出版的地图为准。

三、国内行政境界的表示

国内行政境界的表示方法与国界的表示基本相同。对几种特殊情况的处理，作如下说明：

1）境界通过非线状地物时，境界符号不间断地绘出。

2）境界以道路、河流等线状地物为界时，境界符号不能在中心绘出，可在两侧间断交替绘出，若河流符号内能容纳境界符号，则境界符号在中心位置间断地绘出，但在境界线的转折点或交汇点，境界符号不得省略（图 13.64）。

3）境界符号出图廓时，应加界端注记，若仅在图廓外有微小部分出图廓，应破图廓绘出，不加界端注记（图 13.65）。

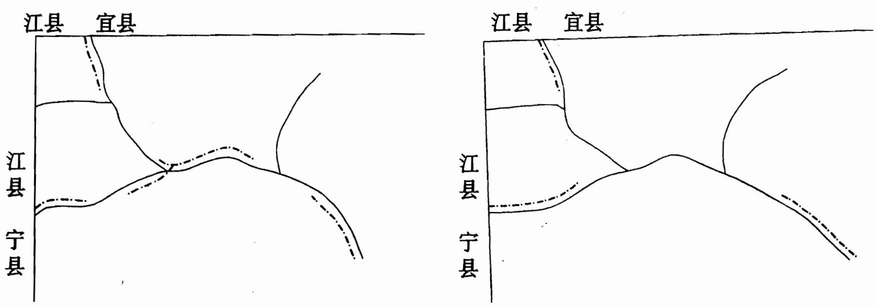


图 13.64　境界交汇处的表示（左——正确，右——错误）

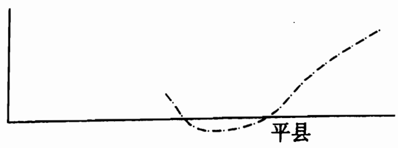


图 13.65　破图廓境界的表示

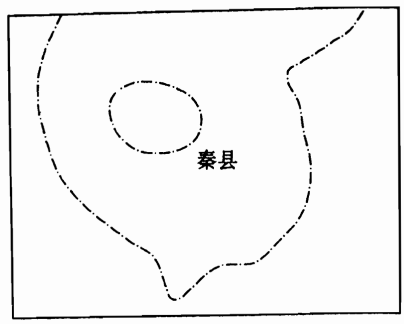


图 13.66　飞地的表示

4）“飞地”在地形图上用相应的境界符号表示其等级，并在其范围内加注隶属名称（图 13.66）。

5）境界上的地物必须归属清楚（图 13.67）。



图 13.67　境界与居民地的关系（下——正确，上——错误）

第七节　专题信息的综合处理

专题地图的制图综合包括地理底图的综合处理和专题信息的综合处理，其中地理底图的图形综合与普通地图的综合基本相同，只是其综合指标是根据各专题要素的特殊要求来确定的，不像普通地图尤其是地形图那样，有相应的编绘规范或规定来制约。专题信息的综合处理即专题地图数据资料的分类分级和处理是专题地图制图综合的关键和难点。

一、专题地图制图资料处理

编制专题地图的资料来源多种多样、涉及面大，资料纷繁复杂。最主要的数据源是地图资料，其次是遥感图像数据、统计实测数据、数字地形数据及其他各种文字报告和相关文件等。

地图资料包括地形图、地理图及与所编地图有关的其他专题地图，是编制专题地图最主要的基本资料。其中，普通地图主要用于编制地理底图，其比例尺应选择稍大或相同于所编的专题地图；比例尺大于新编图、内容与所编专题地图相同的专题地图或者其他与成图内容相关的各种遥感影像资料、统计数据资料、文字资料等都是重要的专题资料和补充更新资料。

这些资料虽经内容完备性、精确性和现实性的分析评价，认为可以使用，但它们的量度单位、统计时间、统计内容的规范性、所涉及的地图比例尺等都不可能完全一致。要想进行专题制图，还必须对这些资料进行坐标和比例尺变换、量纲单位统一、专题要素分类分级处理、制图对象的符号化等。

（一）坐标和比例尺变换

不同来源的地图或其他资料数据，可能存在着地图投影与地理坐标的差异，以及地图比例尺之间、地图比例尺与屏幕坐标之间单位的不一致。因此经过坐标和比例尺变换处理，能将所有的数据统一到满足特定用途要求的地图投影坐标系中（统一的地图直角坐标系或地理坐标系）。

（二）量纲单位统一

资料来源不同，同一制图现象的量纲单位可能有所不同。例如距离的量纲有的用公里或里，有的用千米或米，还有的用英里等；重量单位有的用吨、公斤，有的用千克、克等多种形式。因此，必须进行量纲单位统一。

（三）专题要素数据的分类分级

数据的分类分级是地图内容符号化的前提。数据分类分级就是将杂乱的数据转换为有序的数据，用于区分或强调分布特点，反映某些有价值的趋势及其内在的规律性。

（四）制图对象的符号化

专题制图的关键一环就是制图对象的符号化。它是将经过分类分级处理的数据，按照用图要求，选择合适的表示方法，运用地图符号加以表示。

二、专题地图地理底图资料处理

（一）地理底图的作用

专题地图是反映某专题信息的空间特征及分布规律的图形表示。有些专题信息本身并不具有空间特征，只有将它们以地图符号的形式落实到具有地图基本特性的地理底图上时，才能显示专题信息的空间特征。因此，地理底图必须具有较高的几何精度和完备的地理要素内容，为专题要素的定位和空间关系处理提供足够的精度控制，保证专题地图的可量性与可比性。同时通过专题要素与地理底图的相互联系，还可以分析出更多专题内容的产生、分布、发展的规律。如地形、水系、交通网、居民点等对区域性的工业布局所产生的积极作用就十分明显。因此，地理底图是专题地图的地理基础，专题信息的存储、表达、传递、提取，都必须通过底图才能实现。地理底图一般以相同比例尺的地形图或普通地图为基本资料进行编绘。

（二）地理底图资料的处理

地理底图资料的处理包括地理要素的选取和图形化简。

地理底图的内容一般情况下应较为详细，利于转绘专题内容。但底图要素毕竟是在第二层次出现的，如果内容过于繁杂，反而干扰主题内容。因此，地理底图内容的选取应与专题地图的用途要求相协调，应考虑专题地图的内容、用途、比例尺及区域地理特征来综合确定。如编制森林分布图，除水系起转绘控制的作用外，地形是必须选取的，而居民地、交通网、行政境界线一般都不必选取；编制教学地图时，底图要素也应尽可能减少。在一般情况下，底图内容随比例尺的缩小而减少是正常的。而在考虑区域地理特征时，水网密布区的河流在选取时删减的幅度要比河流稀疏区大，但其总量仍应比稀疏区多。不同的表示方法也会影响地理底图内容的选取。如以点状定位符号表示区域的气候特征时，底图内容可详细些，但以等量线表示同一专题内容时，底图内容就要少些。

地理底图内容要素的图形化简，在保证足够的数学精度前提下，图形的综合程度比普通地图的大。

底图的用色要少，而且色彩应浅淡清晰。同时底图符号和注记的规格不宜繁杂。

三、专题地图制图数据的分级处理

分级，实质上是认识事物群体特征的一种概括手段，而且是常用的方法。对各种专题数据进行分级处理，并选择相应的表示方法，制成专题地图。对于揭示

现象的分布、发展变化规律有着重要的作用。专题地图中的定点符号法、动线符号法、统计图表法、等值区域法和等值线法表示的专题地图，都需对庞大的数据集进行分级。根据人对分级的短期记忆感受能力的极限，分级数一般为 4～7 级。分级数的确定不仅要考虑地图用途、地图比例尺，而且还应注意保持数据的客观分布特征。常用的分级方法如下：

（一）等间隔分级

等间隔分级即等步度分级，是最简单的一种分级方法。设：H 为数列的最高值，L 为数列的最低值，N 为分级数，则级差为

$$D=(H-L)/N \tag{13-1}$$

某下一级的下限值 A_i 为 $A_i=L+(i-1)D$　　(13-2)

（二）有系统的不等步度的分级

有系统的不等步度的分级包括：按某一恒定速率递增；按某一恒定速率递减；按某一加速度递增；按某一加速度递减；按某一减速度递增；按某一减速度递减。其通用模型为

$$L+B_1X+B_2X+\cdots\cdots+B_nX=H \tag{13-3}$$

其中，X 为级差基数，B 为某级所需级差基数的倍数。

对于算术级数：

$$B_i=a+[(i-1)d] \tag{13-4}$$

其中，a 为根据分级需要所给定的常数，a 值越小，级差递增，a 值越大，级差递减；d 为相邻级间变化的速率，根据需要，其取值可以为：1，$i-1$，$1/i$，-1，$-(i-1)$，$-1/i$。

对于几何级数：

$$B_i=gr^{i-1} \tag{13-5}$$

其中，g 为第一个非零项的值，通常取值为 1；r 为给定的比例，根据需要，其取值可以为：2，i，$i/(i-1)$，1/2，$1/i$，$(i-1)/i$。

下面举两个例子加以说明。

例 1：某组制图数据最大值为 1909，最小值为 2，若分为 6 级，按恒定速率递增或递减计算，其公差、公比的计算公式分别为

$$K=\frac{X_{\max}-X_{\min}}{\sum N_i} \tag{13-6}$$

$$q=\left(\frac{X_{\max}}{X_{\min}}\right)^{\frac{1}{\sum N_{i-1}}} \tag{13-7}$$

其中，X_{max}为最大值；X_{min}为最小值；N_i 为级别的顺序，分别为 1，2，3，…，N。算得

$$K=\frac{1909-2}{1+2+3+4+5+6}=90.8 \quad q=\left(\frac{1909}{2}\right)^{\frac{1}{21-1}}=\sqrt[20]{954}=1.41$$

于是，等差级数按恒定速率递增，分级结果是

2 ～ 92.8;92.8 ～ 274.4;274.4 ～ 546.8;546.8 ～ 910;910 ～ 1364;1364 ～ 1909

等比级数按恒定速率递增的分级结果是

2 ～ 2.8;2.8 ～ 5.6;5.6 ～ 15.7;15.7 ～ 62.1;62.1 ～ 346.1;346.1 ～ 1909

等差级数按恒定速率递减的分级结果是

2 ～ 547;547 ～ 1001;1001 ～ 1364.2;1364.2 ～ 1636.6;1636.6 ～ 1818.2;
1818.2 ～ 1909

等比级数按恒定速率递减的分级结果是

2 ～ 11.0;11.0 ～ 61.5;61.5 ～ 242.9;242.9 ～ 681.0;681.0 ～ 1353.9;
1353.9 ～ 1909

例 2：X = 12，14，16，19，24，28，31，32，35，36，37，38，其最低值 L=12，最高值 H=38，设比率为 r，若按 4 级排序，则有：L，Lr，Lr^2，Lr^3，H5 个分级界线。其中，$H=Lr^4$，则 $r=(H/L)^{1/4}=1.334$。因此，这 5 个分级界线的值为：12，16.01，21.35，28.48，38。该级线内值的个数为：3，1，2，6。

（三）按某种变量系统确定分级间隔

按某种变量系统确定分级间隔，其分级间隔的大小并没有朝一个方向有系统地变化。包括完全不规则的分级界线和有规则但不具有单调递增或递减的规律两种类型。其方法有自然裂点法、按正态分布参数分级法、按嵌套平均值分级法、分位数分级法、面积相等分级法和按面积正态分布进行分级法。

1. 自然裂点法

如图 13.68 所示，设有数组 Aa，对该数组需划分 K 个等级。将数组 K 的全部数据按其增长顺序排列为 a_1，a_2，…，a_n，然后计算两相邻数据之差 X_1，X_2，…，X_{n-1}，在此基础上对它们进行分级。首先，从该统计数据序列中找出一个值，称之为聚合半径 G，作为统计数据归并的标准，即两数据之差 X 小于或等于G 值，则可合并为一级，如果两数据之差 X_i 或 X_{i+1}同时小于 G 值，则首先将差值较小的两相邻数据合并为一级，如果两数据之差 X 大于 G 值，则相邻数据不合并。这样，我们用聚合半径 G 同所有 X 值进行比较，每次将两相邻数据（其差值小于 G）合并，而获得若干个级别。第一次聚合所得分级数将多于所

要求的分级数 K，为此必须在第一次分级的基础上进行第二次分级。在进行第二次分级时，对于已经合并的两相邻数据，取其平均值来计算它同相邻数据之差，重新获取 X_1，X_2，…的值，重新规定 G 值进行第二次聚合。这样逐次聚合若干次，每次获得一个分级表和分级数，直至满足所规定的要求。

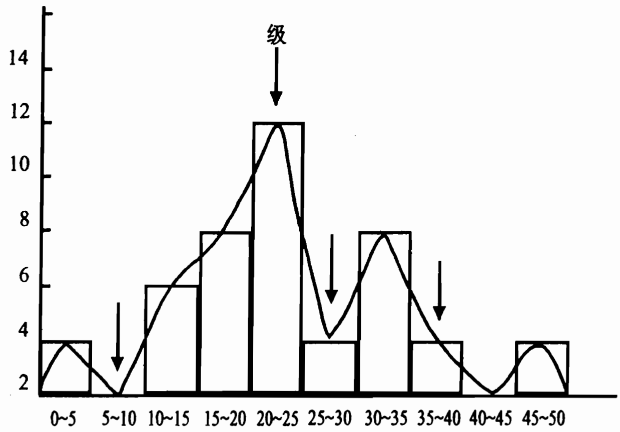


图 13.68　自然裂点法

此法可保证将近似数据归并在一起，其不足之处是聚合半径需要事先给定和实验。

2. *按正态分布参数分级法*

对于呈正态分布的数据，可用正态分布的两个参数，即平均值 $\overline{X}$ 和标准差 S，来分级。常常是从平均值开始，左、右依次减去一个相等倍数的标准差，即

$$L<\overline{X}-(K/2-1)as$$
$$\vdots$$
$$\overline{X}-2as\cdots\overline{X}-as$$
$$\overline{X}-as\cdots\overline{X}$$
$$\overline{X}\cdots\overline{X}+as$$
$$\overline{X}+as\cdots\overline{X}+2as$$
$$\vdots$$
$$\overline{X}+(K/2-1)as<H$$

以上是倍数为 a，分级数为 K（偶数）时的分级，a 随着分级数 K 的增大而适当减小，L 和 H 分别为数据的最小、最大值。

3. *按嵌套平均值分级法*

按嵌套平均值分级的过程是：先计算整个数列的平均值，它将数列分为两部

分，再在每部分中计算平均值，又各自形成两个部分，再进行计算，依此类推，把数组分为 2^n 个等级。这里的 n 是计算中的平均值的嵌套序数。

此法的特点是，以平均值为界分开的两部分的数据的平均值的偏差总和是相等的。但最严重的不足是，正态分布的平均值是最大或然值，数据大都围绕在平均值周围，以平均值作为分界线，这就使许多很相近的数据被划分在不同的等级，歪曲了数据的客观分布特征。此外，与平均值——标准差分级法一样，分级数只能是偶数。

4. *分位数分级法*

分位数分级法是将数据从小到大排列，然后按各级内部数据个数相等的规则来确定分级界限。这种方法尤其适用于等级数据，因为用此法分级只取决于指标的序数而不是数值。

5. *面积相等分级法*

此法的特点是，各个等级在图上占有相等的面积。首先作面积对统计值的累加频率曲线，对代表面积百分数的纵轴等分，横轴上的相应点即为分级界限。此法适用于指标与分布的统计单元全部面积有关的情况，前提是各统计单元的面积必须是已知的。

6. *按面积正态分布进行分级法*

按面积正态分布进行分级法的过程是，将同样样本的大小进行排列，累加其面积，然后按正态分布的规则使中间级别所占的面积较大，往高端和低端的级别中所占的面积都依次减小。

对数据进行分级处理后，一般采用等值线法或分级统计图表法编制专题地图，用于反映要素空间分布的规律性。

四、专题地图制图数据的分类处理

分类就是根据现象之间的相似性和亲疏程度，用数学方法把其逐步分成若干个类别，最后得到一个能够反映现象之间亲疏关系的客观分类系统，正确地反映事物之间的相似性和差异性。例如在编制质底法、范围法或定点符号法、线状符号法地图时，必须根据分类指标体系划分类型或分区。

专题地图制图数据的分类，一般采用聚类分析方法。将制图对象中，有最大相似程度的现象聚合为类，反映呈地域分布的地理现象的特征，从而编制各种类型图或区划图。

聚类分析的方法很多，这里主要介绍系统聚类方法。

系统聚类方法的思路是，先将几个样本各自看成一类，然后规定样本之间的距离和类与类之间的距离，将距离最小的样本归为一个新类，计算新类与其他类的距离，再将距离最近的两类合并，这样每次减少一类。依此类推，直至所有样

本都归为一类为止。

在系统聚类方法中，根据类与类之间的距离定义的方法不同，可以分为最短距离法、最长距离法、中间距离法、重心法、类平均法、离差平方和法等。详见《地图制图数据处理的模型方法》（王家耀等，1992）第九章第二节内容。

图 13.69 是采用最短距离聚类方法的示例过程，样本数为：1，2，5，7，9，10。先将距离最小的样本归为一个新类，然后计算新类与其他类的距离，再将距离最近的两类合并，每次减少一类，直至样本归为一类。

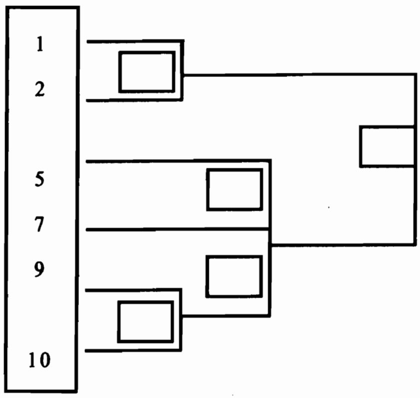


图 13.69　最短距离系统聚类示意图

第五篇　现代地图制图的技术方法

第十四章　数字地图与地图数据库

第一节　数字地图

一、数字地图的基本概念

长期以来，地图作为人类了解客观地理环境的手段，一直以纸质的形式受到广泛的应用，已成为人类生产、生活中不可缺少的物质产品和文化产品，是人类认识世界、利用世界、改造世界的重要工具。它清晰易读、一目了然，在军事上和国民经济建设中发挥着重要的作用，曾被生动地比喻为指挥员的“眼睛”，部队行动的“向导”。

随着计算机技术的发展，为了能在计算机环境下识别和使用地图，要求将地图上的内容以数字的形式来组织、存储和管理，这种形式的地图就是数字地图。因此数字地图是随着计算机技术的应用而出现的一类不同于纸质地图的新型地图产品。

数字地图是对现实世界地理信息的一种抽象表达，是空间地理数据的集合。数字地图在计算机中的表示和存储形式为一组数据，由坐标位置、属性和一定的数据结构所组成，通过软件的处理和符号化方法的应用，在计算机屏幕和输出设备上可以再现成色彩鲜艳、符号化的地图（称屏幕地图或电子地图），它还能够以胶片或其他方式进行输出，得到纸质地图。

二、数字地图的类型

数字地图按数据的组织形式和特点分为矢量数字地图、栅格数字地图、数字地面高程模型和数字正射影像地图四种。

1. 矢量数字地图

矢量数字地图首先依据相应的规范和标准对地图上的各种内容进行编码和属性定义，确定地图要素的类别、等级和特征，这样地图上的内容就可以用其编码、属性描述加上相应的坐标位置来表示。矢量数字地图的制作通过航空航天影

像测图、对现有地图数字化及对已有数据进行更新等方法实现。

2. 栅格数字地图

栅格数字地图是一种由像素所组成的图像数据，所以又称为数字像素地图，它的生产通过对纸质地图或分版胶片进行扫描而获得。这种类型的数字地图制作方便，能保持原有纸质地图的风格和特点，通常作为地理背景使用，不能进行深入的分析和内容提取。

3. 数字地面高程模型

数字地面高程模型实际上是地表一定间隔格网点上的高程数据，用来表示地表面的高低起伏，这种数字地图通过人工量测、数字测图或对地图上等高线扫描矢量化等方法生成和建立。

4. 数字正射影像地图

数字正射影像地图是对卫星遥感影像数据和航空摄影测量影像数据进行一系列加工处理后所得到的影像地图及数据。数字影像地图数据结构采用国际上通用的图像文件数据结构，如 TIFF、BMP、PCX 等。它由文件头、色彩索引和图像数据体组成。

为了实际应用的方便，数字地图在大地坐标系统、图幅分幅、地图投影、高程基准、内容表示和符号系统等基本原则问题上，保持同现有纸质地图的一致性。

随着数字地图需求量的激剧增加，必须生产更多的数字地图，对此应进行有效的管理和应用，由此地图数据库便应运而生。地图数据库是用数据库的技术和方法来管理数字地图，有一整套的方法和技术完成数字地图内容的存储、修改、检索、拼接和应用，并保证数字地图数据的安全性和共享性。这样就使数字地图的生产、更新、管理和应用走上现代化的发展道路。地图数据库的建立对提高我军的快速反应能力，加强国防现代化建设有着重要的作用，它能为全军领率机关和各军兵种及时提供适应计算机技术发展的数字测绘产品，满足当今高技术战争对数字地图的需要。

三、数字地图的应用领域

数字地图适应高新技术的发展要求，在作战指挥、武器系统、现代军事测绘保障、军事地理信息系统及作战训练模拟中发挥着重要的作用。

（一）数字地图在指挥自动化系统中的应用

在指挥、控制、通信和情报为一体的 C^3I 系统中，数字地图是该系统的一个组成部分，系统中有关地理环境方面的信息和数据全部来源于数字地图。敌我态势的标绘、战场形势变化动态显示、电子沙盘的制作都需要数字地图作支持。数

字地图在这样的系统中不仅用来进行战场环境的显示，作为工作底图进行图上作业，而且还被用来对地理信息进行各种检索和查询，分析地理环境各要素对作战指挥的影响。因此，可以这样说，作战指挥和数字地图紧密相关，未来的高技术战争自始至终需要数字地图的支持。

（二）数字地图在武器系统中的应用

当今战争是高技术战争，高技术武器的使用是现代战争的一个重要特点，高技术武器的使用离不开数字地图的支持。数字地图为导弹发射、卫星定位、飞机飞行、舰船航行及车辆通行提供目标方位和导航数据，从而大大提高武器发射的精度和各种交通工具航行的安全性。目前，数字地图已成为先进作战武器的探测和制导系统的组成部分，它丰富了武器系统的功能，增强了兵器的威力，已成为武器系统击中目标的“向导”。

（三）数字地图在现代军事测绘生产中的应用

在数字制图条件下，靠一定的地图生产软件作保障，作业人员不仅能快速地生产和更新所需的数字地图产品，而且还能利用已有的数字地图和地图数据库直接生产新的纸质地图和其他形式的数字地图产品，满足部队的急需。这极大地提高了地图的生产效率，缩短了地图的生产周期，省去了大量繁琐的手工劳动，改善和提高了军事测绘的保障能力。

（四）数字地图在军事地理信息系统中的应用

军事地理信息系统是一种用于战场地理环境分析和辅助决策的现代军事应用系统，可辅助各级指挥员完整、准确、快速地分析战场地理环境要素，科学地进行军事决策，合理地组织军事行动。军用数字地图作为军事地理信息系统的组成部分，其内容是系统的重要信息来源，又是系统的操作和处理对象。军事地理信息系统能否有效地为战场环境分析服务、能否进行科学的辅助决策，在很大程度上取决于数字地图的数量和质量。军事地理信息系统最终的分析结果除了文字和统计表格以外，更多的还要采用可视化方式将数字地图相关内容在屏幕或纸张上进行形象直观的显示。可以这么说，数字地图及其相应的分析和应用技术是地理信息系统的核心和基础，地理信息系统是在数字地图的基础上发展起来的。

（五）数字地图在作战训练模拟系统中的应用

数字地图是战场地理环境信息的主要来源，以数字地图为基础，采用虚拟现实技术可以生成一种逼真的地理环境。在这种由计算机生成的环境中，指挥参谋人员可以身临其境地参与作战规划和演练，这是一种适应数字化战场需要的动态

的、全新的数字地图应用形式，是各兵种 21 世纪作战训练的工具。海湾战争结束后，美军总结了海湾战争的经验，特别是瞄准 21 世纪的信息战，提出了数字化战场的全新作战模式。数字化战场是指以数字通信系统为载体，以敌我友三方情报信息和战场地理环境信息为信息源，将战场上指挥机构、各种武器平台和各军兵种分队（直至单兵）连接起来，在他们之间建立一个数字式的指挥控制系统，准确及时地向他们提供各自所需的作战信息，最终利用所掌握的作战信息优势，战胜敌人。数字化战场的建设，首先必须解决数字化战场信息的获取和利用，由军事测绘提供的战场地理环境信息——数字地图，是信息源的重要组成部分，在数字化战场建设中发挥着举足轻重的作用。

第二节　矢量数字地图

一、矢量数字地图的特点和数据组织形式

（一）矢量数字地图的特点

矢量数字地图有一系列特点，它适应了计算机技术的发展及要求，具有广阔的发展前景、更受用户欢迎。矢量数字地图具有动态性，其内容和表示效果能够实时修改，内容的补充、更新极为方便。矢量数字地图内容的组织较为灵活，可以分层、分类、分级提供使用，能够快速地进行检索和查询。矢量数字地图显示时，能够漫游、开窗和放大缩小。矢量数字地图所提供的信息能够用于统计分析，进行辅助决策。在新的技术支撑下，还能够将数字地图的内容与图像、声音、文字、录像等内容结合在一起，生成更富表现力的多媒体电子地图。

矢量数字地图是使用最广的一类数字地图，具有数据量小、使用方便、便于查询和分析等特点，含有地图要素编码、属性、位置、名称及相互之间拓扑关系等方面的信息，有特定的组织形式和数据结构。常见到的矢量数字地图格式有 Arc/Info 的 E00 格式、MapInfo 的 MIF 格式、MAPGIS 格式及军用矢量数字地图格式等。除了编码和属性项信息以外，这些格式都是将地理信息或地图内容按要素层组织，然后在每一层中再按地理实体图形特征分为点目标、线目标和面目标，用点、线段和多边形与之对应，在具有邻接、关联关系的结点、线段和多边形之间建立拓扑关系，这些拓扑关系在数据结构和数据组织上表示为下列形式：

1）线段与点的关系列表：线段号，点数，第 1 点坐标，第 2 点坐标，…，第 n 点坐标。

2）线段与多边形关系列表：线段号，左多边形编号，右多边形编号。

3）线段与结点关系列表：线段号，首结点号，末结点号。

4）多边形与线段关系列表：多边形编号，线段数，线段号 1，线段号

2，…，线段号 n。

由于每一种格式有其特殊性，这里重点对军用矢量数字地图的编码和数据组织方法进行介绍。

（二）军用矢量数字地图的编码和属性

军用矢量数字地图的要素编码采用国家军用标准《军用基础地理信息要素分类与编码》。该标准的制定是以相应的地图编绘规范和图式为依据，充分考虑了各军兵种的要求。它对系列比例尺地图要素统一编码，即不同比例尺地图上共有的地图要素，属性编码完全一致。某一比例尺地图特有的要素，也统一进行编码，并留有扩充的余地，便于用户增加特有的地理信息。

1. *要素分类及编码结构*

基础地理信息要素编码由 6 位数组成：大类码（两位）、小类码（两位）和顺序码（两位）。大类码为要素的分类码（层码），小类码为要素的亚分类，顺序码为要素的识别码，共同构成要素的唯一标识码。编码结构如下：

××	××	××
大 类 码	小 类 码	顺 序 码

如普通街区的编码为 130204，大车路的编码为 140401，常年河的编码为 160201。

基础地理信息要素共分 18 个大类，如表 14.1 所示。表中 a 所代表的要素层对应大类码为 11，b 所代表的要素层对应大类码为 12，以此类推，每一大类又分为若干小类。除了要素的编码以外，要素的其他描述性信息（质量、数量、空间分布特征）使用属性项结构表示，对地理信息的这种表示方法便于计算机、地理信息系统和数据库技术对地理信息数据的处理、管理和应用。

表 14.1　基础地理信息要素分类

a. 测量控制点	j. 陆地地貌及土质
b. 工农业和社会文化设施	k. 境界与政区
c. 居民地及附属设施	l. 植被
d. 陆地交通	m. 地磁要素
e. 管线	n. 助航设备及航道
f. 水域/陆地	o. 海上区域界线
g. 海底地貌及底质	p. 航空要素
h. 礁石、沉船、障碍物	q. 军事区域
i. 水文	r. 注记

2. 要素层属性项结构

所有基础地理要素的属性信息都有其不同的特点，如居民地要素要表示编码、名称、类型、居住月份、人口、高程、行政区划代码等，交通要素要表示编码、名称、类型、公路编号、公路等级、长度、宽度、高程、通行月份、曲率半径等，这些内容很难统一起来。如果每一种地理要素都有一个属性项结构，会使属性项结构个数太多，使用起来十分繁琐。如果所有的地理要素都要统一到一个属性项结构上，则这个结构中要包含的内容会很多，属性项结构会很长很复杂，这样对某一地理要素而言，属性项结构中绝大多数属性项内容都是空的，会浪费很多的存储空间。为了应用方便，同时兼顾各要素层特点，基础地理信息要素的属性项结构是按要素层来规定的，即每一要素层有一个统一的属性项结构，18个要素层有18个属性项结构。例如，测量控制点层的属性项结构为：

编号（整型8D），
编码（整型8D），
名称（字符型30C），
类型（字符型20C），
等级（整型8D），
高程（浮点型10.2F），
比高（浮点型10.2F），
理论横坐标（浮点型10.1F），
理论纵坐标（浮点型10.1F）。

水系层的属性项结构为：

编号（整型8D），
编码（整型8D），
名称（字符型30C），
类型（字符型20C），
宽度（浮点型10.2F），
水深（浮点型10.2F），
泥深（浮点型10.2F），
时令月份（整型8D），
长度（浮点型10.2F），
高程（浮点型10.2F），
比高（浮点型10.2F），
水库库容量（浮点型10.2F），
吨位（整型8D），
河流代码（字符型20C），

通航性质（字符型 8C），
植物类型（字符型 30C），
表面物质（字符型 30C），
存在状态（字符型 30C），
位置质量（字符型 20C），
颜色（字符型 20C），
与水面关系（字符型 10C）。

（三）军用矢量数字地图数据组织方法及数据格式

军用矢量数字地图的数据按图幅进行组织，每幅矢量数字地图由 3 类数据文件组成，即元数据文件、属性数据文件和坐标数据文件。每幅图的图号作为所有数据文件的前缀，而后缀用来标识不同类型的数据文件。

元数据文件每幅图一个，文件名后缀为 ＊.SGY，它是数字地图的档案信息，共含有 90 余项内容，根据所描述的内容不同，分别用字符型、整型、双精度型、浮点型等数据类型表示，其长度和表示方法都有详细的规定。这 90 余项内容，主要包括数字地图生产单位、生产日期、图名、图号、图幅等高距、地图比例尺、图幅角点坐标、地球椭球参数、大地坐标系统、地图投影方式、坐标维数、高程基准、主要资料、接边情况、地图要素更新方法及更新日期等。

属性数据文件是每一要素层 1 个，每幅图最多 18 个，不同要素层属性文件格式不一样，文件名后缀由要素层标识符和“SX”字符组合而成，如水系层属性数据文件的后缀为 ＊.FSX。属性数据文件主要用来记录某一要素层中点、线、面要素的编码、名称、各种属性描述、地图图形特征及地图要素拓扑关系等信息。属性文件的格式首先是要素层属性项结构，然后是地图要素的图形特征，是实体点、有向点还是结点，是折线还是曲线，是特殊面（有嵌套关系的面）还是一般面，接下来是地理数据的资料来源，最后是地图要素的拓扑关系，如链的始末节点号和链的左右面号。通过搜索和排序，可以建立起点、线、面要素的内在联系。注记层属性数据文件的后缀特殊一些，后缀为 ＊.RZJ，它是把一幅图上所有地图要素的注记和一些地理名称全放在这一个文件里，主要记录的内容有注记的编号、编码、名称、字体、字型、字大、字向、颜色等内容，既不区分要素层，也不区分点、线、面类别。

坐标数据文件也是每一要素层 1 个，每幅图最多 18 个，各个要素层的坐标文件格式是相同的，文件名后缀由要素层标识符和“ZB”字符组合而成，如 ＊.FZB等。坐标数据文件主要用来记录要素层上点状、线状要素的具体坐标位置。由于每一层要素的多少是不一样的，同时线状要素的坐标的点数也不相同，因此不同要素层坐标数据文件的长度是不同的。

各类数据文件的组织形式见国家军用标准《军用数字地图矢量数据格式》。

1∶25万矢量数字地图及比例尺小于1∶25万的矢量数字地图的坐标都采用地理坐标和图幅坐标系，即以图幅左下角图廓点为原点，实际上存储的是各点的经纬度的原点的差值。1∶25万矢量数字地图的坐标值精确到1/4秒，即数据文件中的坐标是将经纬度差值全部化算为秒后再乘以4，其精度在1∶25万图上为±0.016mm，相当于实地±4m。1∶5万矢量数字地图及比例尺大于1∶5万的矢量数字地图其坐标采用高斯坐标和图幅坐标系，即以图幅左下角图廓点为原点，实际上存储的是各点的高斯坐标对原点高斯坐标的差值，精确到1m，为了防止出现负数，X 和 Y 的相对坐标各自加上1000m。

二、矢量数字地图的图形显示与信息查询

（一）矢量数字地图的图形显示

矢量数字地图的图形显示是指将地图数据在计算机屏幕上变成符号化地图的过程，保证计算机环境下地图的阅读、浏览和应用。数字地图显示时，既能显示较大的区域范围，起到宏观了解地理环境的作用，又能显示较小区域内的内容，详细了解地表的相关信息。矢量数字地图显示时，往往要使用各种各样的符号，使之变成符号化的地图，呈现地图本来的面目。在这样一种符号化过程中，要考虑地图投影的使用、点线面符号的处理、注记的配置及地貌立体表示等（地貌立体表示要有等高线数据或数字高程模型数据作支持）。地图投影的应用主要是进行点位的地图投影计算并将它换算成屏幕坐标，自动生成所需的经纬线网和平面直角坐标网。点线面符号的处理是依据地图数据的编码、属性信息、坐标位置，它们与地图符号的对应关系及地图显示时所使用的分层管理方法来进行的，所形成的符号化地图可以放大、缩小、漫游和开窗显示。地图符号的绘制主要有编程法、信息块法和交互设计法三种方法。符号化后的地图内容各要素一般存放在不同的层上，以免相互之间的干扰。在符号化的过程中，符号的大小、色彩、线划粗细及相互之间的关系最好同原始地图相一致，这样符号化的地图才有较好的视觉效果。

（二）矢量数字地图信息查询检索

矢量数字地图信息查询是按一定的要求将存储在计算机中的数字地图信息提取出来，供阅读、显示和分析使用。对数字地图信息进行查询有多种方法，可以给定一个区域范围，可以给定图幅编号，也可以在此基础上再附加对要素层和编码的规定等，总的目的是提取出所要的信息和内容。用于数字地图信息查询的主要方法有：图幅查询、空间范围查询、要素层查询、条件查询、属性查询和地理

名称查询等。

1. **图幅查询**

用图幅编号或图名作为查询条件，把该图幅内的全部地图信息显示和提取出来。如果计算机中或地图数据库中的数字地图信息是按图幅的形式来组织的，那么只要把与该图幅编号相应的所有地图数据文件的内容提取出来就行。如果计算机中或地图数据库中的数字地图信息不是按图幅的形式来组织的，比如事先进行了合并或分割等处理，这时则要根据图幅编号计算出该图幅的经纬度范围，然后根据经纬度范围再提取相对应的内容。

2. **空间范围查询**

给定一定的区域范围或经纬度坐标，将落在该区域的内容提取和显示出来。当然也可以给定一个点，以该点为圆心，将一定半径内的圆形区域的内容显示和提取出来。如果是给定一条线，则要将该线划两侧一定距离区域内的要素查询和提取出来。这些查询和提取的方法都建立在区域裁剪基础之上，具体执行起来要靠相应的算法来实现。

3. **要素层查询**

对所选择的图幅或在某一确定的区域范围内，通过指定要素层，将相应层上的地图要素提取出来，供显示和分析使用。在矢量数字地图数据组织时，为了便于地图信息的管理和应用，将不同的地图要素存放在不同的层上，如水系层、交通层等。采用这样的分层方法为数字地图信息的应用和分析处理提供了极大的方便。

4. **条件查询**

通过给定某一个属性编码或某一种指标来对数字地图信息进行检索，最后把符合要求的地图内容提取出来。例如根据属性编码把某一区域范围内的国家干线公路全部提取出来，或给定一个河流等级，把这个等级以上的河流全部提取出来等。

5. **属性查询**

选中屏幕上某一要素，将该要素的有关信息全部提取和显示出来，如选中某一城市，将城市的名称、人口数（如果属性项中有值的话）、行政区划代码全部提取出来。依数字地图信息的组织情况，对点状、线状和面状要素一般都能直接进行查询，并能提取相关的信息。

6. **地理名称查询**

给定地名或要素名称，将与其对应的地图要素提取和显示出来。如给定一个城市名，将这个城市的轮廓形状提取出来，并将有关这个城市的其他信息也一同提取出来。

对数字地图信息进行查询还有其他一些方法，但它们大多用在一些非常特殊

的场合。由于数字地图数据是分层分类和分级来组织的，每一种地图要素都有相应的属性编码，这就为这些信息的查询、提取和利用提供了极大的方便和灵活性。数字地图信息的查询和提取，这本身就是数字地图的一种应用过程，需要什么区域的信息就可显示什么区域的信息，需要某一层要素就有某一层要素。这样的信息显示在屏幕上、投影到大屏幕上或绘制在纸张上，完全可以作为底图使用，能够在上面进行标绘和作业。在数字地图信息查询的时候，由于可以一层要素一层要素的叠加，这将有利于加深对地理环境的认识。所以我们说，数字地图信息的查询和提取不仅其本身就是对数字地图的一种应用，使提取出来的内容显示在屏幕上，供了解和认识这个区域使用。同时数字地图信息的查询和提取作为一种手段，能为数字地图信息的其他应用提供服务和保障。从实现的原理和方法来看，数字地图信息的查询和提取最终都是靠软件来完成的，要么直接利用地图数据库中的功能，要么编写一段程序在数据检索的时候对有关内容进行比对查询。

第三节　栅格数字地图

一、栅格数字地图的特点和数据组织

（一）栅格数字地图的特点

栅格数字地图是彩色地图或分版胶片通过扫描形成地图图像后，经过数字变换和图像处理所形成的地图图像数据，基本的构图单元是栅格（也叫像素）。栅格数字地图从数据组织方式上来看是一种由点阵组成的数字地图，其特点如下：

1）它是纸质地图的扫描图像，在形式和内容上保留了原彩色地图的主要特色和风格，容易被常年使用军用地图的各级指挥员、参谋人员所接受。

2）栅格数字地图的数据结构简单，整个数据按行按列依次组成，每个像素点有一个颜色值或灰度值。图像的颜色索引数据位于整个数据块的前面或后面，记录每个颜色号所对应的红、绿、蓝三个色彩分量值。有关图像高、宽及其他一些信息存放在图像文件的最前面。

3）栅格数字地图的应用实际上是一种图像再现过程，不需要更多的操作和处理。它主要作为地理背景使用，以显示地表的现象和客观存在，在其上面可以进行定位、标图等作业。

4）栅格数字地图生产速度快、成本低，但数据量大，在存储和管理时应采用一定的压缩技术。

5）栅格数字地图是一种扫描图像，使用起来方法比较单一，无法提取地图要素和内容，不能对地表现象和物体进行个体定义和描述，不能分类、分层、分

要素检索和使用，因此使用起来有很大的局限性。

（二）栅格数字地图数据存储方式和数据容量

栅格数字地图数据的最小处理单元是像素，每个像素对应扫描图像上的一个点。像素的信息包括像素的行、列号及其属性代码（色彩代码或灰度值）。由于像素的相邻关系及对数据的有序组织，因此像素地图行列号不需要记录，被隐含表示，需要记录的仅是像素的色彩代码。当扫描图像最终所用的颜色为 16 色时，每个像素的色彩代码值在 0～15 之间变化，存储每个像素色彩代码的二进制位只需 4 位，也就是半个字节。当扫描图像最终所用的颜色为 256 色时，每个像素需 8 个二进制位即一个字节存储有关的内容。目前所建立的栅格地图数据库每幅地图采用的颜色是 16 色，每个像素所用的存储单元为半个字节。这样当采用 180dpi（约 70 点/cm）的分辨率进行扫描时，中纬度地区的图幅（1∶50 万）按 54cm×45cm 计算，一幅图包含 3780×3150＝11.9 兆个像素，以每像素 4 个二进制位进行存储，则需 5.95 兆存储空间。对于地表遥感影像，由于要求层次丰富，再加上波段数比较多，所以一景图像需 300 兆左右存储空间。对于这样大的图像文件在实际管理和使用时需要采用一定的数据压缩方法进行处理，像行程编码、四叉树结构等对数据做进一步的压缩。压缩的程度视地图内容的复杂情况而有所不同，一般能节省 50%～70%的存储量。当采用数据压缩技术以后，图像的再现和恢复自然要慢些。对于每一块扫描图像来讲，它有一个文件头，存放图像的说明与控制信息，比如图像高、宽、地图比例尺、图像角点高斯坐标、数据存储类型、控制点坐标等，长度一般为 256 个字节，位于图像文件的最前面。

二、栅格数字地图的数据检索与显示

栅格数字地图的生产为部队指挥自动化和作战训练提供了背景式的数字地图保障，从一定程度上缓解了部队对数字地图应用的急需。栅格数字地图数据也能实现一定的检索功能，能以不同方式观察数据的内容，还能以栅格数字地图为背景进行地图量算和军事要图标绘。

（一）数据检索

数据检索是指按照用户的不同要求从像素地图数据文件中检索所需的地图图像，并将这些数据调出显示的过程，像素地图数据库从逻辑上把全国范围当成一个完整区域，可以对这一区域内的任一部分实施检索。数据检索是其他应用的基础。有多种检索方法可供使用，如区域检索、经纬度检索、图幅检索、索引图检索和文件检索。

1. 区域检索

首先给定区域左上角的经纬度坐标，然后指定检索区域中的图幅数目和图幅排列方式，最后按所提出的要求将有关内容显示出来。

2. 经纬度检索

给定某一点的经纬度坐标，把以该点为中心的某一区域内的内容显示出来。

3. 图幅检索

根据已知图幅编号，显示该图幅的地图内容，并提供其相邻图幅关系表以供显示相邻图幅使用。

4. 索引图检索

首先显示一幅用于索引的小比例尺中国全图，然后用户移动光标选择自己所需位置，按选取键后，屏幕上显示出相应的内容，所选位置位于屏幕中心。

5. 直角坐标检索

根据用户所输入的直角坐标，显示其周围图像，并使该直角坐标位于屏幕中心。

6. 文件检索

打开标图文件，读取图幅编号，将所需的图像显示在屏幕上。

（二）数据观察

数据观察一般有三种方式，即漫游观察、开窗放大观察和缩小观察。

1. 漫游观察

通过栅格数字地图图像在屏幕上的平滑滚动，实现大范围的地图连续显示，从而观察指定区域的地表情况，漫游功能的实现主要是通过屏幕滚动和数据拷贝来完成的。漫游时，首先使屏幕进行滚动，造成原点左右或上下的移位，从而使整个图像画面左右或上下平移。然后，再对其移动部分进行拷贝填补，从而使整个画面形成一个新的、连续的画面。漫游功能的实现在一定程度上需要硬件的支持，显示卡上必须有一个较大的存储空间存放一定数量的地图图像数据。

2. 放大观察

用户通过调整窗口中内容放大倍数来观察区域中的图像，放大观察的目的是使用户能够方便、较为清楚地观察区域范围内的局部图像。在放大观察时，先选择待放大的区域范围，然后按指定倍数对其进行扩行、扩列，利用数据快速传输方式将经放大的区域数据送入显示卡的存储区，进而显示在屏幕上。

3. 缩小观察

主要应用方式为整屏缩小，其目的在于使用户观察更大范围的图形，从整体上观察区域的有关情况，缩小观察是对源数据进行抽行、抽列，然后将有关数据送入显示卡的存储区，进而显示在屏幕上。

第四节　地图数据库

一、数据库基本概念

科学技术的发展，激起了人们对信息的需求，也提供了获取信息的新手段和新途径，促使信息获取与应用空前繁荣，世界面临“信息爆炸”。面对日益增长的数据量，如何对数据进行有效的管理，如何更好地发挥数据的效益，为多种应用服务，成为人们关注的问题。数据库技术就是为解决这一问题，在文件系统基础上发展起来的一种较理想的数据管理技术，也是计算机领域中最重要的技术之一。

数据管理指的是对数据的组织、存储、检索和维护等，是进行数据处理的基础。计算机系统的数据管理能力随着计算机软件和硬件的发展而不断发展，大体经历了人工管理、文件系统和数据库系统三个阶段。数据库系统的基本特点是：

1）以数据库的形式组织存储数据，数据量远远大于程序量。

2）库中数据被结构化，用复杂的数据模型描述数据间的联系。

3）库中数据无不必要的冗余，可为多种应用服务，实现了数据的最小冗余和共享。

4）数据单独存储，集中管理，独立于应用程序。

5）统一的软件——数据库管理系统（DBMS）实现对库中数据的一致操作，如修改、检索和重新组织等。DBMS 提供了多用户和数据库间的接口。

二、地图数据库

（一）地图数据库的作用

地图数据库的发展，是为满足信息处理领域对空间数据的需求，为适应现代社会对数字地图产品的需求而发展起来的，它是以数据库技术、数字地图制图技术、空间信息系统的发展为基础的。国际上一些发达国家从 20 世纪 70 年代开始研究地图数据库技术，80 年代中期已建成了一些有代表性的地图数据库，如美国的世界数据库Ⅰ、世界数据库Ⅱ、全球矢量岸线数据库等，并在军事指挥、机助制图、地理信息系统中发挥了重要作用。

我国对数字地图制图的研究始于 20 世纪 70 年代初，对地图数据库的探讨始于 70 年代末，80 年代中期开始建立一些局部区域的地图数据库，80 年代末兴起了地图数据库建立和应用的高潮，现已建成的地图数据库有全国范围的 1∶100 万至 1∶5 万栅格地图数据库，1∶1400 万世界矢量地图数据库，中国 1∶400 万和 1∶100 万矢量地图数据库，1∶50 万军事交通图矢量数据库，1∶25 万矢量地

图数据库，1∶100 万航空图矢量数据库和多比例尺海图矢量数据库等，正在建立的有 1∶5 万矢量地图数据库。

地图数据库系统作为大量空间信息的集合，作为空间数据处理技术的代表，作为一个完整的运行系统，集软件、数据和相关技术为一体，有着广泛的应用领域，在现代地图生产和应用中起着重要作用。

1. 地图数据库是现代地图生产的核心和基础

地图是一种文化产品，随着社会进步和经济发展，对地图需求越来越多，对地图产品的要求越来越高。数字地图、电子地图是现代地图新产品的突出代表，随着计算机技术的应用，地图生产正发生根本性的变化，数字化的地图生产方式使地图数据库成为核心，数据库不但存储了大量空间数据，成为地图生产的主要资料源，同时也是生产和提供数字地图的新基地。以地图数据库为基础的新的地图生产技术日益成熟，数字地图制图技术和自动编绘技术已用于正式生产。地图数据库丰富的数据处理功能对数字地图制图和地图自动综合技术的实现有很大帮助，加快地图生产作业过程，提高了地图产品质量。

我国幅员辽阔，地图更新是一项十分繁重的任务。地图数据库在更新时只需修改库内已发生变化的数据，不需要重新建库，且修改手段多样、更新速度快，有利于提高地图数据的现势性。

2. 地图数据库是军队现代化建设的重要保证

现代战争是信息战、电子战，地图数据库作为战场环境的重要信息源和信息载体，是实现军队现代化的重要基础。地图数据库可以为军兵种指挥自动化系统及与作战环境有关的各种装备和人员分布的管理信息系统等提供现势性强的数字化地理信息，也可为地形分析系统提供基础信息，是实现军事指挥自动化的重要条件。地图数据库也可用于巡航导弹的地形匹配制导和数字图像匹配系统，提高命中目标的精度，为炮位侦察雷达实时提供数字高程数据，是现代武器和战场定位的重要组成部分。

3. 地图数据库是空间型信息系统的重要组成部分

随着国家经济发展与自然资源的开发利用，许多与空间信息管理和应用有关的部门，都在建立各自的信息系统，开展基于地理信息的空间分析、土地利用、人口普查、病虫害预报、矿产分布、交通管理、灾害性天气预报，环境污染整治及其他与资源和环境有关的信息管理，以及各种规划和决策咨询，这些系统都需要地图数据库提供基础地形信息，提供数据处理的区域环境。

（二）地图数据库的逻辑结构

地图数据库由于存储的是连续地表信息，范围广、数据量大，往往需多个数据库体。多个数据库间在逻辑上可分为两种结构。一种是层次结构，一种是并列

结构，例如，按数据规模和区域，全国数据库可分为若干个分库，例如南京分库和广州分库，分库与分库间是一种并列结构，其存储的数据内容、方式基本一致。分库中还可以按数据类型、比例尺、数据内容等分为多种多个子库，如地形高程子库、地名子库等。子库与子库间呈并列关系，而分库与子库间是层次结构。分库上层还可设总库用以协调分库间联系，保障全局性的数据提供。

不同层次的数据库的硬件、软件配置可以不同，但应具备兼容性，特别是向上兼容，库间数据要便于交换、传输。

（三）地图数据库技术构成

地图数据库的软件系统，一般由 5 个基本技术模块组成。

1）数据获取和编辑检查。采用不同设备和技术，对各种来源的地图数据进行采集，并对获取的数据实施编辑检查，建立原始数据库。

2）数据存储和数据库管理。又称数据库管理系统（DBMS），是地图数据库的核心技术模块。按地图模型组织数据，在结构化数据基础上实施统一有效的管理和操作。

3）数据处理和检索。这是一系列工具软件的集合，包括地图投影变换、几何量算、数据裁剪和拼接等，按用户要求重新组织数据，便于实际应用。

4）数据输出与符号化。将库中按要求查询、检索、提取得到的数据传输给用户，也可按用户要求处理后再输出，输出形式可以是数据、数字地图、电子地图、纸质地图等。

5）图形编辑和用户界面。该模块是个基础技术模块，在上述各模块中都有所涉及。图形编辑是适合空间数据特点的数据编辑方式，能方便地对空间数据进行编辑修改。用户界面是用户与系统交互的工具。友好的用户界面，可以为用户提供许多方便，有利于发挥系统效益。

三、地图数据库设计与建库

地图数据库设计，是地图数据库建立和应用的前提，也是充分发挥地图数据库效益的保证。地图数据库建库中和应用时出现的错误，许多都和设计有关。设计一旦完成，实施中很难修改，即使可以修改，也往往需要付出昂贵的代价。建立地图数据库是一项投资巨大的工程，完善的设计非常重要。

对于普通数据库，数据库中设计是指在已有 DBMS 上建立数据库的过程。对于地图数据库，设计可分为两类。一类是作为应用系统组成部分的地图数据库设计，另一类是作为独立的完整的信息系统——地图数据库系统的设计。

（一）应用系统中的地图数据库设计

作为应用系统中一个重要组成部分的地图数据库设计，其设计目标主要是满足系统要求和良好的数据库性能。

良好的数据库性能指数据库本身的技术指标先进。例如数据存储合理，存取效率高，数据精度好，安全可靠，数据操作简单，功能强等。

数据库设计主要包括结构特性和行为特性设计。结构特性设计指定义数据内容和数据结构、数据模型。行为特性设计指数据库的数据操作、管理和处理功能设计，以及应用功能设计。如数据录入功能、数据检索功能、数据编辑功能和数据显示功能等。

数据库设计的一种基本方法称为视图法，可分为五步：

1）创建用户视图，列出具体用户所需的信息结构和使用要求。

2）汇总用户视图，将多个用户视图综合分析，去除不必要冗余，抽象为逻辑概念模型。概念模型必须能准确反映原来的用户视图，能满足用户的所有处理要求，并且模型内必须具有一致性。

3）修改概念模型，概念模型必须反复修改和调整，经过充分验证后方能确定。

4）逻辑设计，运用 DBMS 提供的工具与环境，将概念模型转换成相应 DBMS 的数据模型。

5）物理设计，决定数据的物理表示方法，确定存储结构，分配存储空间，在实际的物理存储设备上实现数据模型。

（二）地图数据库系统设计

地图数据库本身信息丰富，容易构成完整的信息系统，例如地图数据库应用系统、数字地图分析系统等。作为系统，设计时的基本要求是加强系统的实用性、降低系统开发和应用的成本，提高系统的生命周期。

作为应用系统，设计内容较多，包括系统的总体设计方案、总体结构、系统的软硬件环境组成、系统的数据模型、主要技术方法、系统的应用模式等，可分为总体功能设计、系统结构设计、数据模型设计、技术设计和应用设计。

系统设计通常采用结构化设计思想，采用自上向下划分模块、逐步求精的方法。首先从总体出发，考虑全局，确定模块间接口，然后自上向下，一层层完成设计。

系统设计的前提是系统分析。系统分析包括用户需求分析和可行性分析。许多用户由于不熟悉技术而不能清晰地表达他们的需求，设计人员必须深入调查，认真分析，正确掌握用户需求。

可行性分析是指建立系统的必要性和实现目标的可能性，从社会因素、技术因素和经济因素三大方面进行分析，以确定用户实力、系统环境、原始数据、数据流量、存储空间、软件系统、经费预算及时间和效益分析等。可行性分析建立在大量占有资料和局部试验的基础上。

系统设计的原则是在满足用户需求的前提下尽可能拓展功能，增加系统的生存适应能力，在经济实力许可的条件下尽可能配置档次高、性能完善的软硬件系统，既考虑当前的实际技术水平，又尽量使系统具有先进性，在系统设计的各个阶段都要体现标准化、规范化特点，使系统兼容性好、开发潜力大。总之，系统设计要协调处理好需求、经费、时间、技术实力和性能指标之间的关系，最大限度发挥系统潜力。

（三）地图数据库建库

地图数据库系统在完成系统设计后，必须经过实验和试生产，才能全面开始建库工作。地图数据库建库的大量任务是获取和录入地图数据。地图数据的来源主要有四个方面：实测成果、已出版的地图、遥感资料和已有的数字地图。实测的数据成果经处理后可以直接入库，这部分成果常常用于大比例尺地图数据库建立。纸质地图和遥感资料必须经过数字化处理然后入库，这是目前建库最常用的方法，适合多种比例尺地图数据库建立。在已有地图数据库基础上派生出不同比例尺地图数据库，是降低建库成本、缩短建库时间的一种建库方法。例如，对1∶5万地图数据库可以通过自动综合的方法，按1∶10万地图数据库要求对内容进行选取、综合、拼接等处理直接生成1∶10万地图数据库。这种建库方法对技术要求较高，是一种很有前途的方法，特别适合于同类型相邻比例尺地图数据库的建立。

四、地图数据库管理系统

地图数据库管理系统由六大部分构成：数据定义、数据检索、数据操纵、数据控制、图形显示和维护管理，完成对地图数据的输入、存储、维护、操作和管理。

（一）数据定义

数据定义的功能是将原始库地图数据读入，建立相应的各种表并存入硬盘。数据定义包括数据读入、模式编译、物理模式编译和栅格模式编译几个子模式。

（二）数据检索

数据检索是管理系统的基本功能，是数据操纵等其他功能实现的基础。数据

检索可细分为定性检索、定位检索、拓扑检索和组合检索。

1. 定性检索

定性检索是指按要素的属性检索，检索的条件和依据是所采用的基础地理信息属性编码标准。按要素编码的大类码检索，检索的是要素层，按某一具体编码检索的是某一要素类，如国家干线公路。按编码和属性项内容检索的是具有某些特性的一类要素，如人口数超过 100 万的居民地。地名作为一种特殊的属性，按地名检索也是一种定性检索。

2. 定位检索

定位检索也称开窗检索，可以检索出某一矩形范围内所有地图要素。定位方法可以是数据库接受的地理、高斯等坐标。矩形窗口可以是在某一幅图内，也可以在地图数据库管理系统所允许同时处理的若干幅图范围内。

定位检索可以借助栅格索引提高检索速度，定位检索的实现需要经过由图号计算表名，将检索条件解释成系统内部代码、计算栅格号、栅格表检索、坐标数据检索和开窗截取来完成。

3. 拓扑检索

借助拓扑结构中表示的要素间的拓扑关系进行检索，检索出的地图要素都满足一定的拓扑关系。例如按点-线关联检索，可以检索出和某一城市相连的所有公路，按面-面邻接关系检索，可以检索出与某一政区相邻的其他政区。

4. 组合检索

组合检索是定性、定位和拓扑检索的混合操作或对三种检索结果进行与（AND）、或（OR）逻辑运算。例如窗口内的定性检索，窗口内的拓扑检索，有条件的拓扑检索和窗口中的有条件拓扑检索等。

（三）数据操作

数据操作是对数据库中数据进行操作和管理的有关功能，包括对属性和几何数据进行增加、插入、删除、修改、合并、更新等，并把操作后的数据写回数据库中，更新相应的模式和关系表。数据操作包括数据编辑和接边处理两个子模块，数据编辑采用交互式图形编辑方式。数据操作必须保持数据的完整性和一致性，例如删除某一目标的几何数据必须删除其属性数据等。

（四）数据控制

数据控制的功能是规定用户对库中数据的存取权限、从库中拷贝副本、多个用户存取数据的并发控制及发生突然故障时数据库库体的恢复等。

(五) 图形显示

图形显示的任务是将检索的结果用图形输出，以简化的地图图形方式显示在计算机屏幕上，供用户观察分析。

第十五章　数字地图制图技术与方法

从 20 世纪 60 年代开始，计算机技术引入地图学领域，经过理论探讨、应用试验、发展完善和大规模实际应用等几个阶段，已形成地图学中一门崭新的地图制作技术，即数字地图制图技术，它已取代传统的手工地图生产制作方法，在实际生产作业中得到普遍应用。由于它的出现，使地图的生产和应用方式发生了根本性的变革。

数字地图制图是以计算机科学和地图制图学的理论为基础，在一定硬件设备和相应的系统软件支持下，重点研究和解决地图空间数据的获取、变换、存储、管理和图形输出等问题的理论和技术。它的任务是采用数字化技术进行地图生产和制作，并建立一定形式的地图数据库以及为地理信息系统提供基础地理信息。

数字地图制图需要解决三个主要问题：一是对连续的地图内容数字化，以便计算机读取和识别其内容；二是计算机根据地图生产和地理信息应用的要求，对数字形式的地图数据进行一系列的加工处理，形成一定形式的数字地图产品，或构成地图数据库；三是把数字地图的有关内容转换成可阅读的地图图形。这种由图形到数字，再由数字变为图形的变换过程就是数字地图制图的实质。

第一节　数字地图制图技术的形成和发展

计算机技术的广泛应用，给地图制图学科带来了新的发展机遇，使地图的生产和使用方式发生了重大变革。40 余年来数字地图制图技术的发展，大致可以分为以下三个阶段。

（一）酝酿探索阶段

这是数字地图制图的初始阶段，大约是 20 世纪 60 年代初到 60 年代末。这一阶段主要进行数字地图制图基本理论的探索和简单制图设备的研制及应用，从而形成初期的数字地图制图系统。初期的数字地图制图系统的典型结构，是由一台手扶跟踪的数字化仪、一台计算机和一台数控绘图机组成，制图资料（主要是地图和统计数据）通过手扶跟踪数字化仪和键盘转换成与制图有关的数字信息，这些信息按数字化的先后顺序存储在卡片或纸带上，经计算机处理，在绘图机上绘出地图。制图软件基本上是绘制各种线条和各种地物符号的绘图程序。图 15.1 是初期地图制图系统的典型结构框图。这种初期的系统，绘图线划质量较

差，只能在少数单位作原理性实验，还不能应用到生产实践中去。

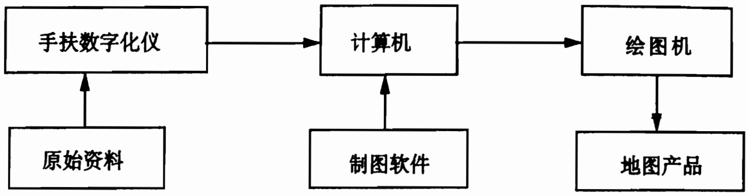


图 15.1　初期的数字地图制图系统

（二）发展完善阶段

这一阶段大约从 20 世纪 60 年代末到 70 年代末。主要是对数字地图制图系统作进一步的实验、改进和发展，使其逐步完善。这期间，正是电子技术的飞速发展时期，出现了各种新型的计算机地图制图设备，像半自动数字化仪、扫描数字化仪、鼓形绘图机、光学绘图机及人机交互方式编辑设备等。数字地图制图软件也得到进一步发展，建立了多种绘图程序包，研究了各种典型制图问题的算法。建立了包含一定制图要素的数据库、地名数据库和地理信息数据库。这时期数字地图制图系统应用最明显的，还是在各种专题地图的数字制图方面，在地质、气象、人口统计、环境保护等方面的应用取得突破，不仅速度快，而且质量高，有的是手工难以完成的，这些发展也进一步促进了普通地图的数字制图。图 15.2是这一时期完善的数字地图制图系统的结构框图。

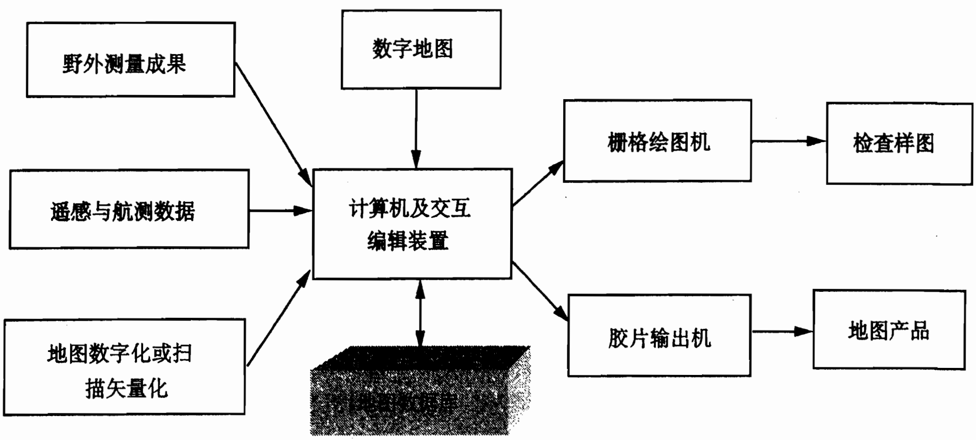


图 15.2　发展和完善中的数字地图制图系统

（三）生产应用及跨学科、跨行业发展阶段

这一阶段大约从 20 世纪 80 年代中后期开始，随着计算机及数字地图制图软硬件的发展，各种高档微机，高精度的图形图像输入、输出设备的出现及图形工作站和计算机网络的广泛应用，再加上计算机软件的功能也愈来愈强，为数字地图制图的发展和应用创造了一个非常有利的环境。与此同时，数字地图制图理论和技术也开始向生产的深度和应用的广度发展。在这期间，各种类型的地图数据库和地理信息系统也相继建立，并在地图的自动生产、环境评价、情况预测，以及决策、规划和管理中得到广泛应用。在数字地图制图技术得到广泛应用的同时，对于一些技术难点问题的研究也取得了新的进展，如地图模式识别、地图制图专家系统等。

进入 20 世纪 90 年代以来，随着数据库技术、面向对象技术、图形图像处理技术、动画技术、多媒体技术和网络技术的发展，硬件性能价格比的进一步提高，以及遥感技术和空间定位技术的发展，为数字地图制图技术的发展和应用展现了更为广阔的前景。一方面，开始使用全数字化地图生产技术进行地图生产，并逐步取代手工地图生产作业。另一方面，由于信息革命的到来，使得以生产基础地理信息为主要目的的地图制图学处于众多学科的交叉口，数字地图制图技术向多个学科和领域渗透，不断扩展其应用范围。数字地图制图的优越性显而易见，归纳起来有以下几点：

1）数字地图制图的成果易于存储，并保证了存储过程中的不变形性，从而提高了地图的使用精度。

2）数字地图制图使得地图内容在制作过程中易于编辑、修改和更新，能根据地图用户的要求对地图内容进行补充和改动，以增加地图的适应性、实用性和用户的广泛性。

3）数字地图制图技术的应用，不仅减轻了制图人员的劳动强度，而且减少制图过程中由于制图人员的主观随意性而产生的偏差，为地图制图进一步标准化、规范化铺平了道路。

4）采用先进的激光胶片输出设备和成图一体化技术，可以提高成图速度，缩短成图周期，改进了制图和制印的工艺流程，把学科中的地图设计、数字地图制图及地图印刷等内容有机地衔接在一起，加强了相互联系，促进了有关内容的相互渗透。

5）数字地图制图增加了地图品种，拓宽了服务领域，利用数字地图制图技术能制作出多种数字地图产品，并可制作多媒体电子地图及坡度、坡向、通视和三维立体地图等。

第二节　数字地图制图系统

一、数字地图制图系统硬件构成

数字地图制图系统由硬件和软件两部分构成，硬件的基本构成为图形图像输入设备、计算机和图形图像输出设备，如图 15.3 所示。

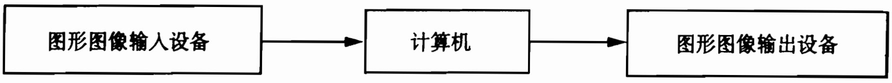


图 15.3　数字地图制图系统硬件基本构成

图形图像输入设备包括手扶跟踪数字化仪、大幅面高精度的扫描数字化仪、解析测图仪、计算机鼠标和键盘等；计算机可以是微机、工作站等；图形图像输出设备包括大幅面喷墨绘图仪、激光胶片输出机、激光打印机、彩色拷贝机等。数字地图制图系统配置的计算机一般硬盘和内存都比较大，图形显示器的尺寸相对也要大一些。

对于大型的数字地图制图系统，多台微机之间连成网络，输入输出设备是共用的，计算机和外设设备在数量上有一定的比例关系，大型的输入输出设备有专用的微机进行驱动和管理。对于要生产纸质地图的数字地图制图系统，则需要高精度的绘图机和激光胶片输出设备。

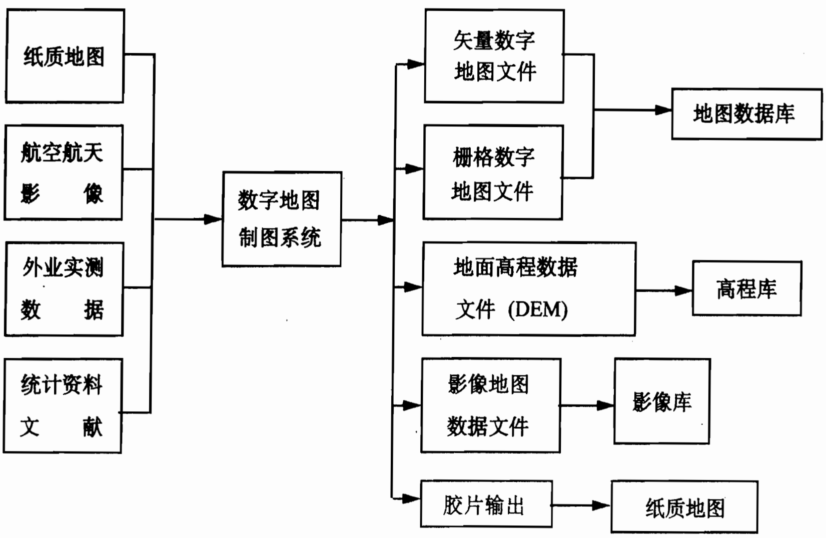


图 15.4　数字地图制图系统软件功能示意

二、数字地图制图系统软件主要功能

数字地图制图系统的软件主要包括操作系统、设备驱动和接口软件、网络通信软件、数字地图生产的各种软件，如矢量数据采集软件、栅格数据扫描处理软件、DEM生成软件、图形编辑与输出软件、数字成图和制图软件及电子地图制作软件等。数字地图制图系统的基本工作流程是数据获取、数据处理和数据输出，软件的主要功能是从不同信息源获取地图数据，并将地图数据处理成符合特定格式要求的数据集合，并实现纸质化输出。数字地图制图系统软件的功能可以通过图15.4来表示。

第三节 数字地图数据处理与编辑

数字地图数据处理是数字地图生产和应用的重要环节，也是数字地图生产和应用的主要内容。数字地图数据处理可分为三类：预处理、符号化处理和应用处理。

数字地图数据预处理是指从数据获取到数据存储前的基本处理，预处理的内容依数据获取方式不同而不同，但有一些处理是必须的。预处理的主要目的是消除数据错误和误差，进行数据变换，保证提供使用的数据的正确性和规范性。符号化处理，主要是按地图产品的制图要求将地图要素变成符号化图形所进行的各种处理。应用处理多种多样，例如数据的各种量算、分析、分类检索等。

数字地图数据必须经过预处理才能提供给用户，而符号化处理和应用处理则可由用户进行。

地图数据编辑是指用于地图数据修改的一类操作，如数据的删除、增加、合并、移位、替换等，地图数据编辑往往作为数字地图生产和应用中必不可少的工具，应用于数字地图制图的各个环节，数据获取时使用地图数据编辑可以纠正错误，数字地图应用时使用地图数据编辑可以对数据进行修改、补充和局部更新，数字地图数据管理中这种操作更是必不可少。

一、矢量数据预处理

数据预处理是指对数字化获取的数据进行加工、变换，以便消除误差，方便存储、管理和应用。预处理的主要内容如下：

（一）图幅定向

在数字化仪上放置数字化底图时，底图坐标系与数字化仪坐标系一般都不会平行，这将导致数据的系统误差，影响以后的数据处理，例如有可能带来不能正

确进行图幅拼接等情况。对于扫描地图也一样，扫描时很难做到地图的正方向与轴线方向完全一致，图幅定向的目的就是使地图的坐标系与数字化仪或扫描仪的坐标系平行，保持相关位置正确，方便以后的实际应用。图幅定向往往通过坐标旋转及平移来完成，要求出旋转角和平移距离。图幅定向在数据采集前进行。

（二）几何纠正

从底图上采集数据时，由于作为原始资料的纸质地图的伸缩变形，会使数据产生误差。几何纠正就是消除这种系统误差，常用的方法有仿射变换、最小二乘法等，主要途径是建立纠正关系式，用一定已知点的理论坐标数据和实际采集的相应点坐标来确定纠正关系式中的待定系数，这样可以将所有数字化点坐标都变换成近似理论坐标值，即进行几何纠正。

（三）地图投影变换

在平面直角坐标和经纬度坐标相互转换时，地图投影变换发挥着重要的作用。另外当数字化底图的投影和数据获取要求的地图投影不同时，也必须进行地图投影变换。地图投影变换是地图投影学的一个研究领域，特别适合于地图数据处理，是数字地图的一大优点。

（四）地图比例尺变换

当数字化底图的投影与数据获取要求的地图投影相同而比例尺不同时，要进行比例尺变换，常规制图条件下比例尺变换依赖于照相缩放，成本高、精度低。数字地图的比例尺变换速度快，精度高。

图形图像输出设备上的开窗、放大、缩小是一种几何上的比例变化，一般不视为数字地图比例尺变换，它只是一种临时的、过渡性变化。

（五）地图数据格式变换

地图数据在获取、存储、处理和输出的各个阶段，数据格式可能会有所不同，预处理中的格式变换主要是按数字地图产品要求提供规范化的标准格式的数据。

（六）数据匹配

数据匹配可以在图形编辑方式下交互进行，也可以用算法完成。数据匹配的含义很广，常用的有结点匹配和数字接边。

结点匹配是指数字化时，同一点，例如几条链的公共结点在每一条链数字化时其结点会有偏差，因此将得到多个不同的坐标值，而数据处理时根据自动建立

拓扑关系的要求，同名点的坐标值必须相同，这时就要进行结点匹配。结点匹配的方法主要是先在一定范围内搜索出应该是同名点的多个坐标值，然后求其平均坐标值，并以平均坐标值取代所有原来的坐标值。

数字接边是指对分幅数字地图在相邻公共边上进行相同的地图要素的匹配，包括属性和坐标的匹配。分幅数字化的地图数据，在相邻图幅的公共边上不可避免地会发生地图要素本应相互连接、但却错位的现象，甚至有属性不一致的情况，这时就必须进行数字接边处理，保证坐标和属性的一致性。

（七）数据压缩

数字地图的数据压缩分两种，一种是信息量的压缩，另一种是存储空间的压缩。

信息量的压缩又称数据简化或数据综合，是从原始数据集中抽出一个子集，在一定的精度范围内，要求这个子集所含数据量尽可能少，并尽可能近似反映原始数据信息，目的是减少存储量，删除冗余数据，常用的方法有特征点筛选法、距离长度定值比较法，道格拉斯-普克法等。

存储空间的压缩是在信息量不变的情况下压缩存储空间，目前计算机数据处理中已有许多成功的方法和成熟的软件，信息压缩率很高，但使用时首先要还原和恢复原信息，也称数据释放。数字地图中常用的另一种压缩是减少存储单元数量。例如将通常一个单元存储一个数据，改为一个单元存储两个或多个数据，使用时再进行分离。这种方法的前提必须是数据的数值较小，或经过处理后较小，能在一个单元存放两个或多个数据。

二、矢量数据编辑

（一）矢量数据编辑的有关功能

矢量数据编辑的对象，可以是某个区域、某个要素层、某种类型或等级的地图要素、也可以是一个实体或一个目标。矢量数据编辑的最小对象是目标，并且可以对组成目标的属性数据、几何位置数据等各部分分别进行编辑。

矢量数据编辑的基本功能有：删除、增加、拷贝、替换、分割、合并、匹配等。

1. 删除

删除是数据编辑中最常用和最基本的操作。矢量数据的获取，目前多采用手工方式，偶然错误难以避免。删除是指从数据集中取消错误数据，或对错误数据作出标记，后期集中删除。删除应注意保持数据的完整性，例如一个目标的删除不能只删除其属性数据，或仅删除几何位置数据而保留属性数据。

2. 增加

增加是指对遗漏的或更新数据的重新获取，需要相应的符合数据精度的输入设备。例如增加时，属性数据可以通过键盘或菜单进行，而几何位置数据可以借助鼠标和数字化仪进行，也可把影像和图像作为背景，在它们上面进行要素的采集。增加操作一般只是对完整的目标实施。

3. 拷贝

拷贝也称复制，是增加一个与已有目标完全相同的新目标，既包括几何位置数据，又包括属性数据。

4. 替换

替换是指改变数据值，例如将属性数据项内容进行替换，或将一类要素改变为另一类要素。几何位置数据的修改一般通过删除和增加两种操作实现。

5. 分割

分割用于目标或实体的再划分，对于线目标，分割只是确定分割处的数据点，将一个目标变为两个目标，并保留相同属性。面目标的分割要确定面分割线并对面域范围线进行分割。分割后的目标应保持数据完整，不能缺少属性数据。分割操作可以多次进行。利用分割操作可以将正确和局部错误的数据分离，便于修改。

6. 合并

合并也称为连接，是分割的逆操作，将两个（或多个）属性相同的目标合为一个目标，合并的前提是目标几何位置相接或相邻。两个线目标的合并可减少一个属性结构的存储量。两个面目标的合并可减少一个公共边线目标和一个相同结构的数据存储量。

7. 匹配

匹配是指对多次采集的同名点数据赋以相同坐标值，保证线目标间的正确相接关系。

（二）矢量数据编辑的方式

矢量数据编辑从手段上可以分为人机交互方式和批处理方式，从方式上可以分为基于数据的编辑方式和基于图形的编辑方式。最常用的是人机交互图形编辑方式。

人机交互图形编辑是将需要编辑的数据以图形方式显示在计算机屏幕上，也可以说显示在编辑窗口内，编辑可以在直观的方式下进行，即通过图形确定编辑对象，然后转换到数据集合中操作。

人机交互图形编辑首先要确定编辑对象，通过人的观察，在屏幕图形上进行标识。标识是指将人的观察结果“告诉”计算机，并将待编辑的数据从大量的地

图数据集合中提取出来。标识的交互工具一般是图形光标、鼠标或键盘。标识也称捕捉，通过鼠标或键盘控制图形光标移动到待编辑的图形位置，读取光标位置坐标，与目标数据进行匹配来检索，确定捕捉对象。标识读取的是目标的屏幕坐标，与目标数据进行匹配需要相同的坐标系，因而交互图形编辑必须进行数据存储坐标和屏幕坐标间的相互转换。

点目标的捕捉一般是利用光标位置坐标与实际点目标之间的距离来判断，若两者间距离足够小，则表示捕捉成功。设光标（捕捉点）的坐标为（x，y），目标点坐标为（x_0，y_0），则两者间距离 $D=\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2}$，实际应用时，为减少计算，提高速度，是以光标点（$x$，$y$）为中心，建立边为最小距离 D$x$ 的 2 倍的正方形，只要目标点落入该正方形，就表示捕捉成功，这时的判断条件为 $|x-x_0|<\mathrm{D}x \cdot AND \cdot |y-y_0|<\mathrm{D}x$。

线段的捕捉与点目标捕捉相似，条件是捕捉点到线段的距离足够小或相交时，表示线段捕捉成功。为减少点到线段距离的计算量，在判断计算前可做一次粗测试，排除不可能相交的线段。方法是建立线段极值点，即最大最小 x、y 坐标值构成的矩形。若捕捉点落入矩形内，则有可能是要捕捉的线段。然后根据捕捉点到线段上点的距离是否满足判断条件来确定该线段是否为捕捉目标。

捕捉到点和线后，就可以提取数据进行编辑修改。

三、栅格数据编辑与处理

栅格数据的编辑与处理，主要包括对像素值的修改、图像质量的改进、图像数据的变换处理等。

（一）栅格数据的基本运算

栅格数据编辑与处理中，常用的一些基本的栅格数据运算如下：

1. 平移

平移是指将栅格数据的像素值向指定的方向移动一个确定的栅格数，例如向上移两个栅格、左移一个栅格等。与一个栅格上、下、左、右相邻的栅格，称为该栅格的 4 向邻域，简称 4 邻域。若再包括 4 个对角的相邻栅格，称为 8 向邻域，简称 8 邻域。

2. 组合

组合是将一个栅格图像置于另一个栅格图像之上，对相应的栅格值进行算术或者逻辑组合运算，称为组合，也称合并。

3. 加粗

加粗是将用一个像素数目表示的线划变为用多个像素数目表示的过程，一般通过对栅格数据进行 4 邻域方向的分别平移，然后将 4 个平移后的图像和原始数

据进行逻辑组合运算来实现。

4. 减细

减细和加粗正好相反，是将用多个像素数目表示的线划宽度减少到按指定要求的像素数目。当指定像素数目为 1 时，即幅宽为 1 时，称细化，细化必须保证图像像素在 4 邻域的连通性。

5. 二值化

二值图像在数字图像中非常重要，因为二值图像便于图像的特征分析，便于表示和处理图形信息，可以定义几何学概念，而且数据量小、处理速度快。二值化就是选定一个值，将所有像素灰度值或颜色值按该阈值分为两种，一种表示图形，值为 1；另一种表示背景，值为 0。

6. 收缩与膨胀

收缩也称侵蚀，是将给定的图像边界点全部删除从而使图像缩小一圈。收缩时，一个像素其值为 0 的条件是其本身为 0，或者其 4 邻域（8 邻域）的任何一个像素为 0，否则值为 1。膨胀也称扩张，与收缩相反，是将图像边界扩大一圈。扩大的条件是像素本身为 1，或者其 4 邻域（8 邻域）的任何一个像素为 1 时则该像素值为 1，否则为 0。

7. 填充

填充是让在指定的区域范围内的一些单个像素，通过“繁殖”布满这些区域。

（二）平滑去噪声

改善图像质量，提高图像信息的传输效果，是栅格数据编辑的重要内容。改善图像质量的方法很多，如增强对比度，使图像轮廓分明，对图像中各种畸变的校正处理等。而平滑去噪声是改善二值化栅格数据质量常用的方法。

噪声的类型很多，在扫描获取的地图栅格数据中，常见的是因扫描底图上脏污而产生的小黑斑，面目标内的小孔洞（白点），图形线划发虚产生的缝隙，图像变换时产生的裂隙，以及线划不光滑、边缘凹陷产生的小毛刺等。

消除噪声的方法很多，当噪声发生的模型已知时，可以设计滤波来有效消除噪声，也称图像复原。但更多的时候是噪声机理未知或难以模型化，这时则要根据噪声性质用平滑化方法消除噪声。

D_1	D_2	D_3
D_0	D_i	D_4
D_7	D_6	D_5

图 15.5　3×3 模板

平滑去噪声技术也称模板方法，例如用一个 3×3 的模板（图 15.5）方法消除毛刺时，规则是模板中 $D_0 \sim D_7$ 中至少有 5 个栅格值连续为 0，则 D_i 为 1 时是毛刺，这时改赋为 0 使毛刺予以消除。消除毛刺的模板

可以有如图 15.6 所示的 4 个样板：

0	0	0
0	1	0

0	1	0
0	0	0

0	0	
0	1	
0	0	

	0	0
	1	0
	0	0

图 15.6　去毛刺样板

对于黑斑和白点即黑白噪声的消除也可用模板方法配以一定规则完成。

消除灰度图像噪声的方法基于这样的思想，把每个像素的值与周围像素的值进行比较，当具有相同或相近灰度值的像素数目很少时，就认为是噪声，消除的方法是用周围像素的平均值来置换像素值。对于二值图像，即可以把周围几乎都是白（黑）像素的黑（白）像素置换成白（黑）像素。

收缩和膨胀方法也可用于噪声的消除。例如，使用膨胀—收缩可以消除白点，使用收缩—膨胀可以去掉小毛刺。膨胀和收缩可以反复组合使用取得较好的噪声消除效果。

（三）基于栅格数据的编辑

栅格数据的基本单元是像素，对像素的增加、删除和修改是最基本的编辑功能。基于像素的编辑可包含对一个像素、一条线段、一个多边形区域的增加和删除，但实质都是对点即每一个像素的增加和删除。修改则是改变像素的颜色（或灰度）值。二值化数据的修改意味着部分像素的删除或增加。

基于栅格数据的编辑常常用于修改扫描地图数据中的图像粘连、断线连接和裂隙填充，以及对输出地图内容的修改和整饰等。

（四）栅格数据编辑处理的方式

栅格数据的编辑处理，一般分为批处理和人机交互两种方式。

批处理是指用软件工具自动实现栅格数据的编辑和处理，它建立在一定的算法基础上，能够很快完成某一类操作或某一类数据的修改和误差纠正，例如消除噪声、对扫描图像进行地图投影变换或图像细化处理等，效率比较高。批处理一般是面向数据自动进行的。当地图数据较为复杂或要处理的问题软件自动实现起来有一定困难时，此时批处理不是很有效，则需要进行人机交互以提高作业效率，例如要素识别、等高线的自动赋值等。

人机交互可以实现各种编辑功能，但交互过多会影响效率，工作量大。人机交互编辑一般只是在批处理后补充进行，用于修改遗留错误和批处理无法解决的

编辑问题。

第四节　地图数据的符号化

一、地图符号绘制方法

有了地图数据，为了进行纸质地图生产或要在屏幕上实现地图符号化显示，这时就要进行地图要素的符号化。对于系列比例尺地形图和协同图，所用的符号都有相应的图式。对于小比例尺挂图和专题地图，事先要设计相应的地图符号。地图符号的计算机绘制分为以下几种情况：显示在屏幕上，绘制在纸张上，输出到胶片上。尽管它们的实现方法不完全相同，但基本原理是相同的。无论是哪种实现方法，地图符号的绘制都可以分解为一些基本图形元素圆、线段、圆弧等内容的绘制，而这些基本图元一般都有相应的实现方法和基本的接口函数。在屏幕显示时，编程语言有相应的图形函数来完成这些图元的绘制。当要求绘图机输出时，绘图机的绘图命令语言也提供这些功能调用。当要求输出激光胶片时，先要将矢量化的地图符号全部转换成栅格化的地图符号，然后才能输出所要的地图产品。因此在不同的设备上要实现地图的符号化，首先要把这些设备所能产生的基本图元及怎样产生这些图元的原理和方法搞清楚，然后以这些图元为基础，采用搭积木的方法把所要的地图符号绘制出来。在地图符号的绘制过程中，不仅要在相应的设备上产生这些符号，同时在某些情况下要保留这些图形信息，并要求在计算机中进行合理的组织和处理，这样才能对这些符号图形进行编辑，产生更满意的图形效果，并对修改的结果实时地进行记录。

鉴于计算机条件下地图符号的上述实现方法，数字地图数据的符号化有下列三种手段：编程法、信息块法、交互设计法。

（一）编程法

编程法是将地图符号分解为基本图元，然后通过编程的方法调用绘制这些图元的函数，由图元的组合来实现地图符号的绘制。在调用绘制图元的函数时，根据符号的特点和定位关系输入适当的参数。对于大多数符号，它们的定位点是固定的，符号中各组成部分相对于定位点的关系也是固定的，因此对于这些符号，以后在使用时只要给出定位点坐标和符号的绘制比例就行。对于线状符号，只要给定线状符号中心线上的点位坐标就能生成线状符号。在采用编程方法时，符号一般都是固定的，所给的定位点也是少量的，利用这些少量的信息根据符号内在的相互关系就可以形成相应的符号。

采用编程法来实现地图符号的绘制其最大的缺点是符号发生变动时不便于修

改，每次都要改动相应的程序，较为麻烦。它的优点在于能将大量的地理信息自动地进行符号化，不需要太多的人工干预。只要按照地理信息的属性编码，检索出相应的符号名称，然后调用绘制这些符号的程序，即可得到各种不同地图符号的输出。符号信息及各种处理和底层接口调用都由计算机独立完成。目前，这种符号的实现方法较为成熟，在实际应用中较为普遍。

（二）信息块法

信息块法是用人工的方法将要绘制的符号离散成数字信息，用统一的结构和方法进行描述，这些描述信息存放在数据文件中，一个符号构成一个信息块。绘图时只要通过程序处理数据文件中的信息块，即可完成符号的绘制。要修改的话也只是修改数据文件，而绘制地图符号的软件保持不变。该方法适用于那些符号本身不太复杂，但难以用数学模型描述、离散后信息量不大的那些地图符号，如单笔画数字、英文字母、单线矢量汉字以及独立符号等。对那些由基本组成成分沿中心轴线重复配置的线状符号，也可将基本组成成分离散成信息块，绘图时经适当处理后沿中心轴线重复配置，进而产生所要绘制的线状符号。

（三）交互设计法

交互设计法是在一定的图形设计软件中，有一系列的图形元素绘制工具供用户选择和使用，用户采用精确输入的方法把构成符号的各个图元按照相互之间确定的关系有机地组合在一起，并选择一个定位点。绘制好的符号起个名字存放在相应的符号库中，这些符号可以是点状符号，也可以是线状符号和面状符号。当是点状符号时，调用时只要给出定位点，所要的点状符号就会自动配置上去。如果是线状符号，光标只要沿定位中心线移动，就形成相应的线状符号。如果是面状符号，只要给定边界，面状符号就会填绘上去。这种符号绘制方法十分方便而且便于修改。不需要编写程序，全靠数据结构和数据之间的关系发挥作用。采用人机交互的方法来设计和绘制地图符号大大地方便了用户，提高了工作效率，减轻了工作量，代表着符号设计和绘制的发展方向。当然这三种产生地图符号的方法在有些情况下要结合起来使用，各自有着不同的使用场合。

二、地图符号库的建立和应用

绘制地图图形或实现地图内容的符号化，要使用到大量的地图符号。无论这些符号是用程序编写出来的，用信息块的方法书写出来的，还是采用人机交互的方法设计出来的，这都要花费不小的人力和物力。尤其是采用编程的方法和信息块方法，不仅需要很强的编程能力，而且需要极高的严密性。如果对每个用户来讲，当采用数字制图的方法制作一幅地图的时候都要重新设计一套绘图程序或一

套地图符号的话，其任务的艰巨性和重复浪费是显而易见的。所以一般都把设计好的程序或符号有目的地存放在一起，进行统一存放、统一管理的地图符号的集合，就称为地图符号库。根据符号绘制实现的手段不同，有时地图符号库中存放的是实现符号绘制的程序，有时存放的则是具体的符号，它由数据结构加上相互关系信息组成，目的都是为了实现地图符号的绘制。为了地图符号库使用方便，在地图符号库建立时应对全部的地图符号进行统一的编码。地图符号库的建立要易于扩充和完善，管理要简洁高效，使用起来要方便灵活。

采用编程的方法实现一幅地图的计算机绘制，其地图符号库及相应的符号绘制应包括以下几方面的内容。

（一）图元和基本图形绘制程序

1）各种图元绘制程序，圆、圆弧、椭圆、多边形、线段、线串、点、实心几何图形、正多边形等。

2）平行线、加粗线、虚线及曲线光滑程序。

3）汉字、数字书写程序。

（二）基本计算程序

1）交点计算程序。

2）图形旋转、缩放、平移、错切、镜像计算程序。

3）经纬度与图幅编号计算程序。

4）地图投影计算程序。

5）点位纠正变换程序。

6）地图内容拼接及拓扑化程序。

（三）地图符号绘制程序

1）地图数学基础绘制程序。

2）点状符号绘制程序。

3）线状符号绘制程序。

4）面状符号绘制程序。

5）图外整饰程序。

在采用交互设计方法及具有较好图形软件的情况下，上面第一部分内容由软件所提供的各种绘图工具所代替。第二部分的内容利用图形软件所提供的开发工具和编程语言就能够实现，必要时使用地图数据库的部分管理功能。第三部分通过交互方法来设计各种符号及使用相应的配置工具来解决。

第五节　纸质地图数字化生产与出版

地图及地图集的生产以往都是靠手工作业方法来完成，从总体设计、编辑计划的制订、编稿图的完成、地图清绘，到地图印刷工厂的照相、翻版、分涂、制版和印刷，每一步都离不开作业人员的参与。仅就这一过程本身来讲，既费事、费时，又十分繁琐。对于这样一种生产过程和生产方式，无论是首次生产还是以后的更新再版，编辑修改都十分困难。随着计算机技术在地图制图领域的广泛应用，以及数字地图制图理论和方法的不断成熟和完善，现在完全可以在计算机环境下来实现上述生产过程。在印刷出版界广泛使用激光照排技术的今天，地图的生产和制作朝这一方向迈进是很自然的事情。特别是当地图数据库陆续建立以后，为了充分发挥地图数据库的作用，必须采用新的作业流程和方法来完成地图的生产和更新工作，使地图的生产走上数字化和现代化的发展道路。不能把地图数据库中的内容先绘到纸上，再采用手工的方式去完成相应的地图生产任务，而应该使地图数据库与数字地图制图系统相连接，采用新的手段、新的技术来完成纸质地图的生产。这种软件系统和技术的应用，实现了地图生产方式的重大转变，使地图的生产跨上一个新的台阶，代表着地图生产的发展方向。这种软件系统在相应的硬件设备支持下直接输出高质量的分色挂网胶片，缩短了地图的生产周期，提高了军用地图的生产效率。所以，大量的数字地图产品生产出来以后，一方面满足作战指挥的需要，加速军队的现代化建设，另一方面军事测绘行业本身也要利用这些数字地图产品去生产新的数字地图和纸质地图，并同时完成对地图数据库的更新和维护，实现本行业的技术进步和生产方式的转变。

一、纸质地图数字化生产基本作业过程

采用数字化生产作业方法生产一幅纸质地图，从大的方面来看，需要经过 6 步（图 15.7）：

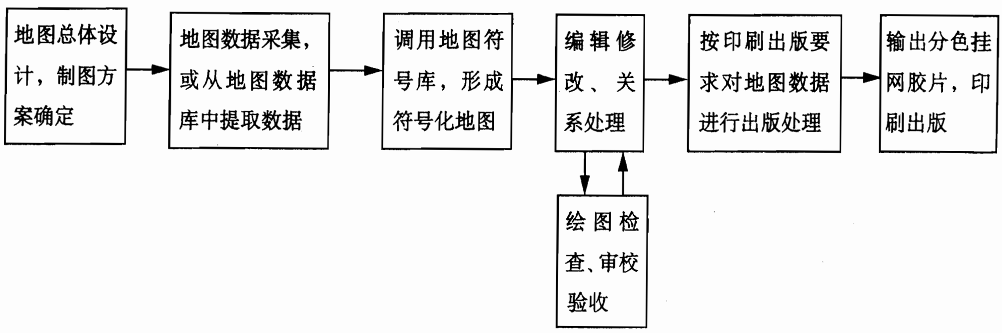


图 15.7　纸质地图数字化生产过程

如果在纸质地图生产过程中，要兼顾矢量数字地图的生产，则在地图要素符号化阶段必须挂上属性数据库或属性数据文件，符号化地图内容所对应的属性信息通过链接的方式由属性数据库或属性数据文件来管理。在图形编辑修改和地图内容更新完成以后，一方面从属性数据库或属性数据文件中抽取属性信息，另一方面根据符号化的地图图形得到点位坐标，通过拓扑处理按相应格式生成数字矢量地图数据。这就是图 15.8 中两个虚线部分的内容。

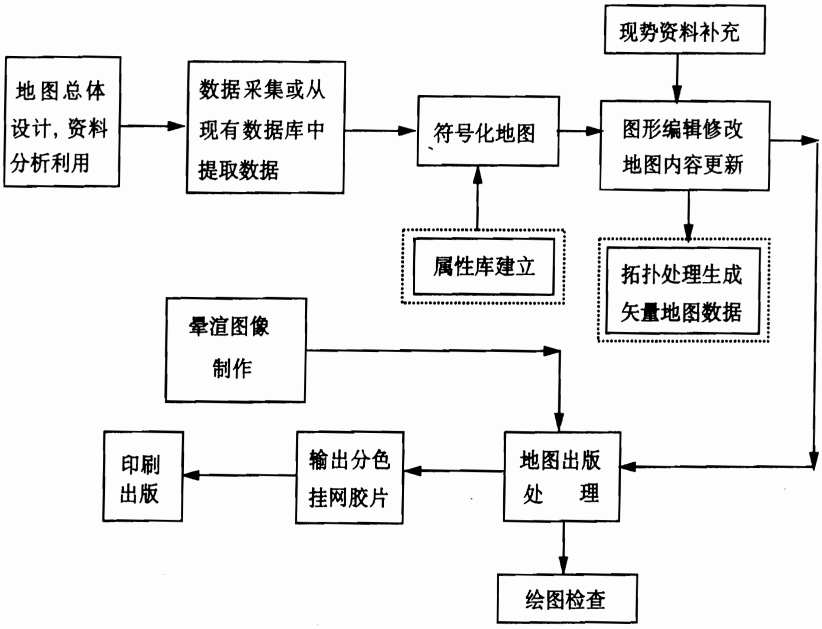


图 15.8　纸质地图数字化生产具体作业流程

下面对图 15.8 所示的流程图中的各部分内容进行说明。

（一）地图总体设计与资料分析

这部分工作与传统的制图过程基本相同，主要是根据用户的需求及地图的用途和资料的情况选定地图投影、比例尺和截幅范围，确定地图内容和表示方法，设计地图符号系统，确定图面配置式样，确定各要素的印刷用色和压印关系。对收集到的地图资料要进行认真的分析评价，提出具体的使用方法，并按数字制图要求制定编辑计划。这部分工作在地图数字化生产工作开展前就应该考虑好。

（二）数据采集或从现有数据库中提取数据

在没有现有地图数据库或地图数据可用的情况下，地图数据的采集只有通过地图扫描矢量化或手扶跟踪的方法来获取。用来进行数字化作业的底图一般都要

把实地最新的变化标绘上去，要保证数字化底图的质量和精度。数字化底图的质量高低、内容的新旧程度和详细程度对最终成图的质量有很大的影响。如果是从地图数据库中或现有数据文件中抽取数据，则要根据地图生产的要求利用一定的软件来进行提取。在这过程中，矢量地图数据预处理的部分工作就必须进行，如地图数据格式转换、点位坐标的变换和纠正及对地图数据的抽取和利用等。如果成图比例尺和地图数据库的比例尺相同，成图的内容又与地图数据库中的内容相近，地图要素制图综合的问题要小些，否则提取什么样的内容、怎样提取，取舍指标怎样控制、其他内容怎样补充都需要研究，并进行充分的试验。

（三）地图内容符号化

这一部分工作是按所设计的符号系统对地图内容进行符号化。为了保证图形编辑修改和地图出版工作的顺利进行，地图内容在符号化的过程中要将不同的要素存放在不同的层中，这样就可以对不同的要素进行有选择性的操作，要编辑某一层要素就单独打开那一层，以免相互之间的干扰。当要显示所有的要素时就打开全部的层。在符号化的过程中，符号的大小、色彩、粗细及相互之间的关系最好反映最后印刷出版所要求的成图情况，应按所要求的尺寸来显示和记录，这样作业人员才能准确地处理好地图上各要素相互之间的关系，解决诸如压盖、注记配置、移位、要素共边等问题，保证所制作出来的地图的质量。在大多数情况下，图形符号与地理信息（地图数据库中的内容）之间应建立有机的联系，在完成纸质地图生产的同时，又完成地图数据的生产和更新，保证纸质地图产品同数字地图产品的一致性。

（四）图形编辑修改和地图内容更新

地图是用符号图形和文字来表示地图内容，再好的符号化软件、再高质量的地图数据，它们所形成的符号化地图仍然需要采用图形编辑的方法进行修改，把相互关系调整好。在地图编辑修改过程中，还要利用现势资料和补充资料对地图内容进行更新，遥感影像和航空影像经过一定的纠正后，可以作为背景放在矢量数据的下面，在这些影像上提取必要的信息，对地图内容进行更新和补充。

（五）绘图检查

地图出版之前，必须对地图内容进行认真的检查。由于目前在计算机屏幕上对地图内容进行检查还有一定的难度，所以大多采用绘图的方法对地图内容进行检查，通过在绘图样张上的比对和检查来发现错漏。检查工作完成后，要回到机器上对地图内容进行修改，直至地图内容准确无误为止。

（六）地图出版处理与印刷

地图出版处理是将编辑好的符号化地图图形按地图出版要求调整好地图内容的压盖关系，出版前进行必要的整饰和加工，在此基础上生成发排格式的 EPS 数据文件。这样的数据经胶片机输出就可以得到分色挂网胶片，制版印刷后得到相应的纸质地图产品。

当然在不同的情形下，上述数字地图制图过程可能会发生一些变化，但总体的路子不会变。另外在实际的地图生产过程中，会有注记的录入、图表、彩色图片和地图的混排等问题需要解决，这时就要具体问题具体分析。总之，按照这样的生产流程，在相应的软硬件支持下就能完成数字制图方式下纸质地图的生产工作。

二、数字地图制图和出版软件简介

数字地图制图和出版软件都具有地图符号制作、图形编辑修改、图文混排、要素分层和地图图形输出等功能，最终生成 EPS 格式的数据文件送印前系统输出，从而完成纸质地图生产的整个作业流程。根据能否输入地理属性信息并建立要素间拓扑关系又将这一类软件分为通用制图类软件和地图制图类软件两种。

通用制图类软件有 CorleDraw、Illustrator、Freehand，以及图像处理软件 Photoshop 等。目前，大量的插图、宣传图片、广告均由这类软件制作完成，它们也常常用来生产地图集和小幅面的地图作品。这些软件的重点在通用图形设计上，不是针对地图制图开发的，在制作地图之前必须进行一定的准备工作，如建立符号库，进行图层设定等，使用起来不是很方便。这些软件只能接受一些通用的图形或图像格式数据，没有二次开发工具，它们既不接受地理信息数据，也不能形成地理信息数据。

地图制图类软件是指专门为地图制图开发的软件，这些软件一般都提供了数字化仪采集、扫描矢量化、多种地理数据格式转换、地图投影变换、坐标变换、几何纠正、地图编辑、地图整饰、专题图制作和 EPS 格式成果输出等功能。与通用制图类软件相比，地图制图类软件更专业化，使用、操作也更加方便，工作效率更高，适用范围更广。地图制图类软件在当前纸质地图生产中起着主导作用，替代了以前繁重的手工制图劳动，是地图生产方式的一次革命，在国内市场上应用比较广泛的这类软件是 MicroStation、MapGIS、方正智绘、MappingStar、AutoCAD，以及在此基础上二次开发的一些制图系统。这些制图系统只要开发得好，在地图图形符号采集和编辑的时候兼顾地理信息生产的需要，或在生产地理信息的同时兼顾地图图形图像输出的需要，那么就可以在同一个生产流程中既完成纸质地图的生产，又完成数字地图的生产。

目前，用于地图生产方面的软件越来越实用，功能越来越强，但这种实用离我们的希望有时还有距离，大多数软件对地图制图问题的处理仍然需要作业人员一步步操作，软件本身对相关问题的处理远没有达到自动化和智能化的程度。目前在地图生产过程中的诸如地图资料的分析利用、地图符号的设计及地图内容的选择等仍需要作业人员自己去解决，软件对这些问题的处理还显得无能为力。而对于像地图数据的获取、制图综合的实现、地图内容的编辑修改等则在很大程度上还需要通过人机交互的方法来实现，劳动强度大，精力高度集中，数字地图制图的优越性没有充分地发挥出来，因此要继续深入地开展对地图制图专家系统和模式识别的研究，努力提高地图生产自动化和智能化的水平，把最新的研究成果吸收到地图生产的软件当中，把作业人员从繁重的人机交互中解放出来。

第十六章　多媒体电子地图与互联网地图

第一节　多媒体电子地图

电子地图又称为“屏幕地图”，是 20 世纪 80 年代以后利用数字地图制图技术形成的地图新品种，它以数字地图数据为基础，采用多媒体技术显示地图数据的可视化产品。电子地图可以存放在硬盘、CD-ROM、DVD-ROM 等数字存储介质上。电子地图可进行交互式操作，带有相应的操作界面，其内容是动态的，既可以显示在计算机屏幕上，也可随时打印到纸张上。电子地图一般能进行显示、查询和多种统计分析。电子地图和数字地图的联系和区别在于：数字地图是电子地图的数据基础，电子地图是数字地图在计算机屏幕上符号化的地图。

一、电子地图的特点

电子地图与纸质地图相比有一系列新的特点，它的出现扩充了地图的表现领域，以丰富的色彩和灵活多变的显示方式多角度地展现与地理环境相关的各种信息，同时不再受到图幅的限制、比例尺的限制，可以在不同比例尺之间进行切换，这样的变化和扩充为地图阅读者带来了极大的便利，而对于地图的制作者则增加了难度。电子地图具有以下 4 个特点。

（一）动态性

电子地图具有实时、动态表现地理空间特点的能力，电子地图的动态性表现在两个方面：一是用具有时间维的动画地图来反映事物随时间变化的动态过程，并可通过对动态过程的分析来推演事物发展变化的趋势，如城市区域范围的沿革和变化，河流湖泊岸线的不断推移等；二是利用闪烁、渐变、缩放、漫游等显示技术不断生成新的地图，不断改变地图图形，使没有时间维的静态现象也能吸引用户的注意力，如通过符号的跳动闪烁突出反映感兴趣地物的空间定位等。

（二）交互性

纸质地图一旦印刷完成即固定成型，不再变化，用户与地图的交互受地图上所表示的信息内容的限制，不可能对地图内容做任何实质性的更改，不可能有超越地图内容的交互，所以用户通常是被动地接受信息。

电子地图具有交互性，可实现查询、分析等功能，以辅助阅读、辅助决策

等。电子地图显示和生成过程中，地图用户可以指定地图显示范围，可以选择显示内容及显示方式，如选择相应的色彩和符号，将制图过程与读图过程在交互中融为一体。不同的用户由于使用电子地图的目的不同及自己对地图内容的理解不同，在同样的电子地图系统中会生成不同的电子地图结果。也就是说，电子地图的使用更加个性化，更加具有灵活性，更加满足用户个体对空间认知的需求，同时也增加了读图的趣味性。除了用户可以对地图显示进行交互外，电子地图提供的数据查询、距离和面积量算等工具也为用户获取地图信息提供了非常灵活的交互手段。

（三）无级缩放与载负量自动调整

纸质地图一般都具有一定比例尺，其比例尺是固定不变的。电子地图则不然，在一定限度内可以任意无级缩放和开窗显示，以满足应用的不同需要。通过相应控制技术的应用，电子地图在无级缩放过程中，能动态调整地图内容的详细程度，使得屏幕上显示的地图保持适当的载负量，以保证地图的易读性。

（四）超媒体集成性

超媒体是超文本的延伸，即将超文本的形式扩充至图形、声音、视频，从而提供了一种浏览不同形式信息的超媒体机制。在超媒体中，可以通过链接的方法方便地对分散在不同信息块间的信息进行存储、检索、游览，其思维更加符合人的思维习惯。电子地图以地图为主体结构，将图像、文字、声音等附加媒体信息作为补充融入电子地图中，地图图形信息的先天缺陷可被其他信息所弥补。通过人机交互查询手段，可以获取精确的文字和数字信息。因此，电子地图在提供不同类型信息、满足不同层次需要方面具有传统纸质地图所无法比拟的优点。

多媒体电子地图是集文本、图形、图表、图像、声音、动画和视频于一体的新型地图产品，是电子地图的进一步发展。它增加了地图表达空间信息的媒体形式，通过视觉、听觉等感知形式直观、形象、生动地表达空间信息。人类除了利用视觉来接受空间信息外，听觉也是一个非常重要的感觉通道，而这个感觉通道的利用在纸质地图条件下是无法实现的。听觉作为视觉的补充，不仅多了一个信息获取渠道，而且使地图阅读过程更加有趣，会给用户一个全新的感受。

电子地图技术发展很快，其发展趋势体现在以下几个方面：

1）图形界面便捷化。界面的设计趋于友好方便，人机交互进一步增强，可满足不同层次使用者的要求，使用方便，查询速度快。

2）媒体丰富，媒体质量高。随着多媒体电子地图的发展，多媒体信息，包括图像、视频、文本在电子地图中不仅质量高、效果好，而且所占比例有所增加，图形信息有所减少。

3）电子地图向三维显示方向发展，向虚拟现实方向发展，向可进入的空间地理环境方向发展。

二、电子地图的感受环境和功能

电子地图的功能和特点，决定了电子地图的应用方式和应用范围。电子地图不仅具备了地图的基本功能，在应用方面还有其独特之处。它可以科学而形象地表示和传递地理环境信息，帮助人们快速了解、认识和研究客观世界，因而广泛地应用于经济建设、教学、科研、军事指挥等应用领域。电子地图的使用和计算机系统融为一体，在读图环境和应用方式上有自身特点，充分利用计算机的信息处理功能来挖掘和提升对电子地图所含信息的分析和应用潜力。电子地图是在计算机环境中制作的，可以实时修改变化地图内容，为用户提供方便。

（一）电子地图的读图感受环境

电子地图与纸质地图相比在许多方面已发生了很大的变化，首先表现在电子地图与纸质地图具有不同的读图感受环境。电子地图的读图感受环境主要依赖于计算机硬件设备，由于电子地图一般是在屏幕上阅读的，因此电子地图的视觉感觉效果要受到计算机屏幕尺寸和分辨率的影响。与纸质地图相比，电子地图在读图感受环境上具有以下特点：

1. 使用环境不同

纸质地图的阅读需要外界光源；而电子地图的用户读图时，由于计算机屏幕本身是个发光体，因此外界光源的作用不是很大，一般要暗淡一些才好。

2. 图形显示的分辨率不同

纸质地图上图形显示的分辨率达到 0.1mm，甚至更小；计算机屏幕的分辨率目前一般只有 1024×768 或 1280×1024，最高的也不超过 2048×2048。用彩色 CRT 上相邻像素间的距离即点距来衡量，目前好一点的计算机屏幕的最小点距约为 0.20mm，一般屏幕的最小点距约为 0.30mm。因此，电子地图图形显示的分辨率明显低于纸质地图。

3. 阅读方式不同

纸质地图以图幅为单位整体制作出版，幅面大，读图时整体印象深刻；电子地图的可视范围受计算机屏幕尺寸的限制，整体显示的效果会受到较大影响，它以分块分层显示为主，用户可通过漫游、放大、缩小等方式来阅读地图。

4. 呈色原理不同

计算机屏幕上光的颜色是红、绿、蓝色系，按加色法原理构成，叠加的颜色越多，色彩越亮。而纸质地图印刷时的油墨是黄、品、青、黑，呈色原理符合减色法原理，叠加的颜色越多，色彩越暗。

（二）电子地图的功能

电子地图的应用方式同数字地图的应用方式基本一致，电子地图在可视化、多媒体信息表示和可交互性等方面的特点更为突出，电子地图通过一定的开发，可实现以下的功能：

1）地图构建功能。由于电子地图有很好的交互性，不仅允许用户根据自己的需要和设计方案选择或调整地图显示范围、比例尺、颜色、图例和图式等，而且提供了更新或再版地图内容的技术和方法，能自动生成所需的多媒体电子地图和专题地图。系统提供了强有力的地图数据输入、编辑和输出功能，确保及时地更新数据，保持电子地图的现势性，并为电子地图的再版创造了十分便捷的制图环境。

2）检索和查询功能。根据用户需求检索有关的图形、数据和属性信息，并以多媒体、图形、表格和文字报告形式提供查询结果。

3）显示和读图功能。包括显示、闪烁、变色、开窗、对比等功能，能对地图内容进行放大、缩小和漫游。

4）数据的统计、分析和处理功能。对相关内容进行汇总统计，打印直方图，并可进行距离计算、多边形面积量算、最短路径分析和缓冲区分析等功能。

5）绘图输出功能。将屏幕上的内容或计算机中的数据输出到纸张或胶片上。

6）辅助功能。必要时通过配置一些图例和附图来提高电子地图的可阅读性。

第二节　电子地图的设计和制作

电子地图的操作界面一般比较简便，不同的电子地图往往具有相对统一的界面，而且电子地图大多连接属性数据库或属性数据文件，能进行查询、计算和统计分析。电子地图通常是系列化的，有时表现为电子地图集形式。

电子地图的用途不同，所反映的地理信息和专题内容会有很大的不同。另外，地图资料的差异和所使用工具的不同，也会影响电子地图的设计。但从整体上说，电子地图的设计和制作应遵循一些基本的原则，主要包括内容的科学性、界面的直观性、地图的美观性和使用的方便性。电子地图的设计和制作，应重点把握界面设计、符号与注记设计及色彩设计等几个环节。

一、界面设计

界面是电子地图的外表，一个友好、清晰的界面对电子地图的使用非常重要。界面友好主要体现在其容易使用、美观和个性化的设计上。界面设计应尽可能简单明了，如果用图者在操作电子地图界面时感到难以掌握，他就会对电子地

图失去兴趣。应增加操作提示以帮助用户尽快掌握电子地图的基本操作，还可以通过智能提示的方式简化操作步骤。

（一）界面的形式设计

用户界面主要有菜单式、命令式和列表式三种形式。菜单式界面将电子地图的功能按层次全部列于屏幕上，由用户用键盘、鼠标或触摸等选择其中某项功能执行。菜单式界面的优点是易于学习和掌握，使用简便，层次清晰，不需大量的记忆，便于探索式学习使用。其缺点是比较死板，只能层层深入，无法进行批处理作业；命令式界面是用几个有意义的字符所组成的命令来调用功能模块。其优点是灵活，可直接调用任何功能模块，可以组织成批处理文件，进行批处理作业。其缺点是不易记忆，不易全面掌握，给用户使用带来困难；列表式界面是将系统功能和用户的选择列表于屏幕上，用户通过选择来激活不同功能。电子地图一般常采用菜单式和列表式界面。

（二）界面的布局设计

电子地图界面布局设计是指界面上各功能区的排列位置。一般情况下，为方便电子地图的操作，工具栏设置在电子地图显示区的上方或下方。图层控制栏和查询区可以设置在显示区的两侧。为了让地图有较大的显示空间，可以将不常用的工具栏隐藏起来，只显示常用的、需要的工具栏，以方便读者阅读地图。

（三）图层显示设计

由于电子地图的显示区域较小，如果不进行内容分层显示，读者阅读和使用起来会感到比较困难。所以在电子地图设计和应用时，要对电子地图的有关内容进行分层显示，能够根据需要进行相应的控制，不同的图层还可以选择不同的显示和处理方式，使有用的信息得到突出显示。一般来说，重要的信息先显示，次要的信息后显示。另外，通过程序控制，使某些图层在一定的比例尺范围内显示，即随着比例尺的放大与缩小而自动显示或关闭某些图层，以控制图面载负量，使地图图面清晰易读。

二、符号与注记设计

电子地图和纸质地图一样，作为客观世界和地理信息的载体，其内容主要是由地图符号来表达。电子地图符号设计的成功与否，对电子地图的表示效果起着决定性的影响。在电子地图符号设计时要考虑和注意以下特点及原则。

（一）基础地理底图符号尽可能与纸质地图符号保持一定的联系

这种联系便于电子地图符号的设计和使用，也有利于读者进行联想。如单线河流用蓝色的渐变线状符号表示，高等级道路用双线符号表示等。

（二）符号设计要精确、清晰和形象

精确指的是符号要能准确而真实地反映地面物体和现象的位置，符号本身要有确切的定位点或定位线。清晰指的是符号尺寸大小及图形的细节要能使读图者在屏幕要求的距离范围内清晰地辨认出图形。形象指的是所设计的符号要尽可能与实地物体的外围轮廓相似，或在色彩上有一定的联系，如医院用“＋”字符号表示、火力发电站用红色符号表示、水力发电站用蓝色符号表示。

（三）符号与注记的设计要体现逻辑性与协调性

逻辑性体现在同类或相关物体的符号在形状和色彩上有一定的联系，如学校用同一形状的符号表示，用不同的颜色区分大专院校与中小学校；协调性体现在注记与符号的设色尽可能一致或协调，应用近似色，尽量不用对比色，以利于将注记与符号看成一个整体。

（四）符号的尺寸设计要考虑视距和屏幕分辨率因素

由于电子地图的显示区域较小，符号尺寸不宜过大，大了以后会压盖其他要素，增加地图载负量。但如果尺寸过小，在一定的视距范围内看不清符号的细节或形状，符号的差别也就体现不出来。点状符号尺寸应保持固定，一般不随着地图比例尺的变化而改变大小。

（五）用闪烁符号来强调重点要素

闪烁的符号易于吸引注意力，特别重要的要素可以使用闪烁符号，但一幅图上不宜设计太多的闪烁符号，否则将适得其反。

另外，注记大小应保持固定，一般不随着地图比例尺的变化而改变大小。路名注记往往沿街道方向配置，如果表示了行政区划，一般应有行政区划表面注记，通常用较浅的色彩表示，字体要大一些。

三、色彩设计

地图给读者的第一感觉是色彩视觉效果，电子地图也不例外。电子地图的色彩设计要充分考虑色彩的整体协调性。

（一）利用色彩来表示要素数量和质量的特征

不同种类的电子地图要素可采用不同的色相来表示，但一幅电子地图所用的色相数一般不应该超过 5～6 种。当用同一色相的饱和度和亮度来表示同类不同级别的要素时，等级数一般不应超过 6～7 级。

（二）符号的设色应尽量使用习惯用色

这些习惯用色主要有：蓝色表示水系，绿色表示植被、绿地，棕色表示山地，红色表示暖流，蓝色表示寒流。

（三）界面设色

电子地图的界面占据屏幕的相当一部分面积，它的色彩设计要体现电子地图的整体风格。电子地图内容的设色以浅淡为主时，界面的设色则采用较暗的颜色，以突出地图显示区域；反之，界面的设色应采用浅淡的颜色。界面中大面积设色不宜使用饱和度过高的色彩，小面积设色可以选用饱和度和亮度高一些的色彩，应使整个界面生动起来。

（四）面状符号或背景色的设色

面状符号或背景色的设色是电子地图设色的关键，因为面状符号占据地图显示空间的大部分面积，面状符号色彩设计是否成功直接影响到整幅电子地图的总体效果。

电子地图面状符号主要包括绿地、面状水系、居民地、行政区、空地和地图背景色。绿地的用色一般都是绿色，但亮度和饱和度可以有所变化。面状水系用蓝色，亮度和饱和度可以变化。居民地和行政区的面积较大，其色彩设计也很重要。对空地设色或对地图背景面进行设色可使电子地图更加生动。

（五）点状符号和线状符号设色

点状符号和线状符号必须以较强烈的色彩表示，使它们与面状符号或背景色有清晰的对比。点状符号之间、线状符号之间的差别主要用色相的变化来表示。

（六）注记设色

注记色彩应与符号色彩有一定的联系，可以用同一色相或类似色，尽量避免对比色。在深色背景下注记的设色可浅亮一些，而在浅色背景下注记的设色要深一些，以使注记与背景有足够的反差。若在深色背景下注记的设色用深色时，这时应给注记加上白边，以保证注记的表示效果。

电子地图设色从整体上讲有两种不同的风格，一种是设色比较浅，清淡素雅；另一种是设色鲜艳，具有很强的视觉效果。

第三节　互联网地图的特点和制作

一、互联网地图及其特点

（一）互联网地图发展概况

随着 Internet 的迅速发展和普及，互联网已经成为快速传播所有知识的重要渠道。其中作为空间信息图形表达形式的地图，越来越受到各网站和广大用户的欢迎。近十多年来，互联网地图得到极其迅速的发展。互联网地图经历了从简单地图到复杂地图，从静态地图到动态地图，从二维平面地图到三维立体地图的发展过程。而且随着互联网技术、WebGIS 技术的迅速发展，互联网地图的传输与浏览速度逐步提高。目前，国际上和国内比较大的网站都开辟了网络地图专栏，出现了一批专门的、通用的地图网站或专题地图网站，美国、加拿大等国家还专门设立国家地图集网站，将国家地图集的主要内容通过 Internet 发布，实现免费共享，用户可以上网查询检索，浏览阅读，打印或下载所需要的图幅或其他信息。

目前互联网地图的类型主要有：城市地图、旅游地图、公路交通图、全国与区域普通地图、专题地图、国家与区域地图集等。

（二）互联网地图的特点

互联网地图也是一种多媒体电子地图，通过计算机屏幕显示和阅读，也可以打印、复制或下载备用。它具有一般电子地图的特点，如开窗放大、漫游游览、任意交互与动态显示及一定的查询检索与分析功能。但网络地图同一般的电子地图相比较有以下不同特点。

1）远程传输地图信息。以光盘和硬盘存储的多媒体电子地图是把经过编辑加工生成的一幅幅地图加以集成，用户可以根据目录打开阅读其中任意一幅地图。地图的载体就是光盘和硬盘，通过光盘和硬盘直接传输和阅读。而网络地图是在异地通过 Internet 传输数据（数据存储于服务器），然后通过浏览器生成地图，供用户浏览阅读。由于中间有一个数据传输与地图生成的过程，所以比一般电子地图显示与漫游的速度要慢一些，尤其是数据量很大的复杂地图。随着宽带网与互联网络技术的不断改进，地图数据传输显示的速度会有所提高。

2）传播广泛便捷。网络地图同纸质地图和普通电子地图相比，具有更广泛的用户群体，能最大限度地发挥地图的使用效益和社会效益，而且网络地图还具

有远程快速传递的优越性，使用十分便捷。

3）多样性的人机交互。光盘电子地图比纸质地图具有交互性特点，而网络地图比电子地图具有更多交互性。用户可以根据自己的需要选择不同地图网站的内容与不同形式的地图，而且可以选择任意区域进行放大，增加或减少某些图层及某些线画与符号，下载打印或用 E-mail 发给他人。网络地图还可以查询、检索相关的信息。例如，从旅游地图上可以查询旅游景点的更多信息，或饭店的更详细信息，甚至通过互联网直接预订房间。

4）适时动态更新。虽然光盘电子地图比纸质地图具有易于更新再版的优点，但互联网地图比光盘电子地图更具适时动态更新的特点。互联网地图的数据可以根据需要，随时更新。

5）充分利用超媒体结构。互联网地图比光盘电子地图更多地使用超媒体结构。互联网地图和电子地图不同，不是整个屏幕显示图幅，而是将屏幕分割成若干功能区，地图显示是其中的一个较大的功能区。采用超链接方式组织相关部分，以及其他相关网页的标记。通过点击链接，直接进入其他网页浏览。

二、互联网地图的设计与制作

（一）互联网地图的结构与运行机制

网络地图通过 Internet 同时表达空间与属性一体化信息，它充分利用了 WebGIS、Web 数据库、元数据库、网络动态数据模型及互联网等多项技术，用户可通过 Internet 查询检索、浏览阅读所需要的地图及其他信息。

互联网地图的传输与生成，首先是建立地图数据库，而数据标准化、规范化是信息共享的必备条件。因此，所有数据都必须按照统一的分类标准和编码系统进行数据分类和编码改造；而且所有空间数据都必须同地理基础底图相匹配（包括地理坐标与河流、居民区、道路等基本地理要素）。同时，需要建立统一的数据转换标准，包括各类数据（矢量、栅格与属性数据）的统一标准格式和相互转换软件。例如，矢量地图数据统一转换为 SHP 格式，栅格数据转换为 TIF 格式。此外，还应注意数据的质量控制（包括数据精度、完整性与现势性等）。

互联网地图由服务器端和浏览器两部分构成，中间由 Internet 连接。服务器端用于地图数据库的建立、管理和发布，浏览器端用于数据库共享、表达和应用。服务器端软件由元数据库查询、数据分析应用、地图生成等模块组成，浏览器端软件由查询分析、地图显示、专题图制作、辅助功能等模块组成。互联网地图系统的运行机制与过程是：当从浏览器端发出信息查询与浏览网络地图请求时，服务器端响应请求，向浏览器端发送所要求的信息。浏览器端收到信息后，进行地图符号选择、地图投影转换、地图显示、普通地图与专题地图制作和地图

图例生成等操作，完成网络地图传输与信息共享。

（二）互联网地图的设计

1. 功能设计

互联网地图是通过 Internet 发布的地图。互联网地图系统的功能设计，主要包括空间数据的浏览、显示，属性数据的查询，空间数据到属性数据和属性数据到地理空间数据的相互查询与双向检索，统计数据制图与空间信息分析等。

1）空间数据显示与图形操作功能。主要是地图的浏览、显示、放大、缩小、开窗、漫游、图层控制等。地理空间图形数据查询和显示主要通过 WebGIS 技术实现，用户可根据需要控制所要显示的地图要素或任意图层。

2）空间信息与地图查询功能。将地图按照类型、区域或主题划分图层，以便较快地实现地图内容查询，也可以进行由地图查询属性和由属性查询地图的双向查询。

3）交互动态制图功能。用户可以在浏览器端根据需要制作专题地图。例如，用户从属性数据库选择有关数据制作统计地图。

4）统计分析功能。主要包括地图上点位坐标、长度与距离、面积等量算，还可以实现最短路径分析与属性信息的统计分析。例如，自动计算每种类别的面积及其在所有类别中的比例等。

5）超链接网页功能。互联网地图在界面上设置其他相关网页的链接点，通过点击可以直接进入其他相关网页。

2. 主网页设计

主网页的设计同多媒体电子地图集界面设计一样，非常重要，不仅使用户（读者）了解互联网地图的主题，吸引读者，而且具有引导作用，使用户迅速获得所需地图或其他信息。因此，主网页的设计在很大程度上影响网络运行效果。主网页的设计应结构清晰，内容精练，美观大方，操作便捷。

3. 图层设计

由于互联网地图一般划分为多个功能区，地图虽是其中主要的功能区，但由于数据传输与地图生成的速度较慢，所以不能像普通电子地图那样，所有地图内容都能全部快速显示和漫游，必须划分许多图层，这在数据库结构设计中已有所考虑。图层的设计要考虑地图的用途和地图内容结构的特点。每个图层应有相对独立的质量特征与数量指标，以便于地图的阅读、分析和利用。当然用户也会根据需求选择或组合自己需要的图层。

4. 地图符号、色彩与注记的设计

互联网地图也是在计算机屏幕上显示的地图。因此，地图的符号、色彩与注记的设计同多媒体电子地图的设计一样，除了传统地图整饰的一般原则外，还需

考虑屏幕地图的优点和不足，要发挥屏幕地图的优势，克服屏幕地图的不足。

符号的设计，首先要考虑屏幕地图分辨率和视距。符号尺寸不能太大，也不能过小，以在合适的屏幕视距范围内、能清晰地辨别各种符号为准；注记大小也是同样的原则。同时，符号和注记最好不要随地图比例尺的变动而变化。为了使符号与注记清晰可分，需要充分发挥符号多种变量（点状符号的形状、大小、亮度、方向、结构、色彩等变量；线状符号的粗细、形状、结构与色彩等变量；面状符号的线画疏密、网纹角度结构、色彩等变量；注记的字体、等级、方向、色彩等变量）的作用；必要时还可采用闪烁的方式突出少数重要地物或重要注记。

互联网地图色彩的设计也非常重要，同常规纸质地图及电子地图比较，其表示质量特征的类型及其设色不能太多，表示数量分级的等级也不宜太多，一般不超过 7 级；小块面积设色的亮度和饱和度（浓度）可高一些，而大面积设色其饱和度则低一些。背景色可采用浅淡或深暗的色调，前者可突出主图，后者则衬托主图。

符号和注记的设色原则：在深色背景（底色）下，符号与注记的设色可浅淡、明亮一些；而在淡色背景下，符号和注记的设色则应深暗一些。

第六篇　地图分析与应用

第十七章　地 图 分 析

第一节　地图分析概述

地图分析，就是将地图作为研究的对象，采用各种定量和定性的方法，对地图上表示的制图对象时空分布特征及相互关系规律进行研究，并得出有用的结论。根据地图的定义，地图是按照一定的数学法则和综合法则制作的。地图的数学法则构成了地图的数学基础，正是因为地图具有严格的数学基础，地图上以符号表示的各种各样的内容才具有与地图比例尺相应的定位精度，这是地图分析特别是地图定量分析的数学基础；地图内容的制图综合法则构成了地图的地理基础，正是因为地图具有科学的地理基础，地图上用符号表示的制图对象才能反映各种自然和社会经济现象的空间分布、组合、联系和制约及其在时空中的变化和发展规律。

地图分析是地图应用的基础和核心，没有地图分析就不可能有深层次的地图应用。人们在使用地图时，首先是利用地图图例阅读地图，弄清地图上的各种符号及其组合所表示的实地地物和现象及它们之间的关系，称为读图；然后是分析地图，即获得制图对象的某些数量和质量指标，认识制图对象的结构特征、区域间地理差异、各要素之间的相互联系和制图规律、随时间推移的发展变化进程，进一步对区域地理环境作出评价，或对未来可能的发展变化作出预测，称为地图分析；最后对分析结果作出地理规律上的解释，通常由各行各业的专家来做，称为地图解译。由此可见，使用地图一般分为读图、分析、解译三个阶段，而其中的地图分析是地图应用的基础和核心。

地图分析是人们利用地图认识自身赖以生存的客观地理世界的主要方式之一，正因为如此，地理学家把地图看作是地图学的“第二语言”，作为地学研究必不可少的工具。特别是研究当今人类面临的可持续发展问题，地图分析更具有独特的作用。例如，利用地图分析，研究各种地理要素和现象的分布规律（水系、居民地等分布特征）、相互联系和制约（气候与植被、土壤的关系等）、动态

变化（河道迁移、人口流动、沟谷发育等），进行综合评价（自然条件、生态环境等）、区划和规划（地貌区划、城镇化发展规划等）、国土资源调查和整治（摸清国土资源情况、合理制定生产布局等），以及预测预报（天气、地震等）等。

第二节　传统地图分析的基本方法

传统地图分析的工具是模拟地图或纸质地图，包括单张地图、系列地图或地图集。

一、地图目视分析法

地图目视分析，指用图者通过视觉器官或人眼对地图进行分析。

地图目视分析是以地图目视识别（简称地图识别）为基础的，在目视识别的基础上进行目视分析。地图目视识别是地图目视分析的前提。通过目视识别和目视分析可获得如下信息。

1. 制图区域范围信息

指地图所描述的地区范围。无论是单张地图、系列地图或地图集，它们都是描述一定的区域范围的，如全球、洲、大洋、国家、省、市（县）或任意制图区域。地图上用以识别制图区域范围的主要标志是图名、地图经纬度等。图名是识别制图区域的主要标志之一，例如世界地图，其制图区域肯定是全球范围；非洲地图集，其制图区域范围肯定是非洲；中华人民共和国地图，其制图区域肯定是中国领土范围；黄河流域地图集，其制图区域肯定是黄河流域范围；河南省地图，其制图区域范围肯定是河南省。对于某个区域相同品种相互拼接的多幅地图，不易由其图名判断制图区域范围时，则可通过查明多幅地图的四个角点的经纬度来识别其描述的制图区域范围。

2. 地图数学基础信息

指地图所采用的地图投影及相应参数（中央经线、标准纬线及其他）、经纬线网形状及其间隔、直角坐标网、地图比例尺、坡度尺、“三北”方向线图等。通过地图数学基础的识别，可以判定地图所能达到的精度，这是以后进行地图分析特别是定量分析的依据。

地图投影的识别，相对于制图区域范围的识别要复杂得多。我国的系列比例尺地形图采用统一的地图投影：1∶100 万比例尺地形图采用双标准纬线等角圆锥投影；1∶50 万及更大比例尺地形图采用高斯-克吕格投影，其中 1∶2.5 万～1∶50 万比例尺地形图采用 6°（经差）分带，而 1∶1 万及更大比例地形图则采用 3°（经差）分带。所以，对国家系列比例尺地形图的目视识别来说，不必刻意识别其地图投影，但要掌握上述地图投影的变形分布。而对小于 1∶100 万比

例尺的各种地图或地图集，由于地图用途、类型和制图区域形状的差别，可能采用各种各样的地图投影。这时，可能有两种情况：一种情况是地图上注明了所采用的地图投影名称；另一种情况是地图上未注明所采用的地图投影名称。对于第一种情况，如果地图上注明的地图投影名称是准确的全称，不仅包括投影名，还指明了投影的“切”与“割”或“正轴”、“横轴”与“斜轴”及相应的地图投影参数，那么地图投影就容易识别了；如果地图上只注明地图投影的简称，并未指明“切”与“割”，或“正轴”、“横轴”与“斜轴”，更未说明相应地图投影参数，那么地图投影的识别就靠推断和判定了。对于第二种情况，当然更需根据有关标志进行推断和判定。在上述两种情况下，识别、推断或判定地图投影的主要依据甚至唯一依据，就是地图上的经纬线网形状特征和经纬线间隔的变化。这就要求地图使用者具备一定的地图投影理论知识。

经纬线网形状特征及其间隔的识别，对于懂得地图投影基本理论和知识的人来说不是很困难的。不同的地图投影，具有不同的经纬线网形状特征，而且投影变形也有各自的规律性，这些在《地图投影》教材中都有详细论述，是必须具备的基本理论和知识。而地图上的经纬线间隔，则可通过地图上经纬线的经、纬度数字注记来判定，这里要注意的是，图上经纬线间隔的经、纬度差值相同（如均分别为0°、5°），相应的距离不一定相同，因为不同纬度上的变形不一样，这是地图投影性质决定的。

直角坐标网在我国只是在大于或等于1∶25万比例尺地形图上表示，纵、横直角坐标线都有相应公里数注记，直角坐标网间隔在各种比例尺地形图编绘规范中也都有相应规定，所以直角坐标网及其间隔的识别是很容易的。

地图比例尺几乎在所有地图上都是要注记的，通常是以数字方式（称为数字比例尺）和图解方式（称为图解比例尺）。坡度尺和“三北”方向线图只是大于或等于1∶5万比例尺地图上才表示（旧1∶10万比例尺地形图上也表示）。读懂了坡度尺，就能据此在地形图上量测地面坡度；读懂了“三北”方向线图，就能知道图幅范围内任意点的磁偏角和坐标纵线偏角。

3. 地图内容信息

指地图上表示了哪些地理要素和现象，各种地理要素和现象表示了哪些数量和质量特征，制图区域内各种地理要素和现象有什么样的分布特征（密度对比、分布规律等），各种地理要素和现象之间相互联系和制约关系。

为了弄清地图上表示了哪些地理要素和现象，要通过目视识别解决两个问题：一个是通过阅读地图图例，弄清地图上都表示了些什么（如水系、地貌、居民地、道路、行政境界、土质植被等）；另一个是通过阅读地图上各种地理要素和现象的名称注记，弄清地图上表示的各种地理要素和现象在实地对应的实体是什么（如长江、黄土高原、郑州市、京汉铁路等），这样才能把地图上表示的和

实地客观存在的联系在一起，构成有特色的区域地理环境。

为了获得各种地理要素和现象的数量和质量特征，主要通过阅读地图上的数字和文字注记来解决。例如：地图上河流一般用通航起讫点符号标明通航与不通航；渡口或徒涉场处一般注记河流中水的流速、河宽及河底底质；道路通过河流的桥梁一般注记桥长、桥宽、载重（吨数），有的还注明距河流水面高度；土质可通过注记判别其为戈壁滩、砾石、砂等质量特征；植被可通过注记判别其树种和树龄，还可判别树粗、树冠直径等；居民地可通过地图上名称注记字体、字大判别其行政等级，通过圈形符号的结构和大小判定相对人口数量；地貌可通过地图上高程点高程注记、等高线高程注记判别地面的绝对高程和相对高程，根据图上等高线的疏密程度判别地面相对坡度。当然，我们还可以借助已掌握的地貌学知识，通过图上等高线的图形特征来判别地貌类型和地貌形态特征等。

为了获得制图区域各种地理要素和现象分布特征的信息，主要可以考虑两个方面：一是通过目视分析，在地图上对各种地理要素和现象，按其相对疏密程度进行概略分区，以反映其实地不同区域的密度差别，例如居民地密度、河网密度、道路网密度等。当然这种密度分区其界线只是概略的，分区等级是定性的（如稠密、中等密集、稀疏等），不过还是能相对地反映地理要素和现象分布的区域差异；二是利用目视分析方法并结合已掌握的地理学知识，通过地图上图形符号的分布获取地理要素和现象的分布规律，最具代表性的是分布的地带性规律，包括垂直地带性和水平地带性分布规律，高山地区自上而下依次为现代冰川地貌、古冰川地貌、流水地貌和干燥剥蚀地貌可作为分布的垂直地带性规律的一例，北方居民地一般呈集团式分布而南方居民地一般呈分散式或散列式分布，可算是水平地带性分布规律的一例。

为了获得各种地理要素和现象相互联系和制约关系方面的信息，主要是利用目视分析方法把地图上两种或两种以上地理要素和现象放在一起来研究它们之间相互联系和制约的关系。例如，通过对地图上的河系或河网平面图形整体结构特征和与之相关的地质构造、地貌类型的关系的目视分析，可以得知中山、低山、丘陵、平原地区一般为树枝状河系，高山峡谷地区一般为羽毛状河系，火山地貌地区一般为放射状河系，地质构造断裂地区一般为网格状河系等；再如，通过对地图上居民地分布与地貌、水系之间关系的目视分析，可知黄土地区居民地一般分布在黄土墚、塬、峁上，而不在黄土沟谷，西北干旱地区居民地一般分布在绿洲附近，江浙和成都平原地区居民地一般沿河流、沟渠两岸呈散列式分布等。

地图目视分析除了利用人的视觉器官和视觉思维能力以外，还需要具备一定的地理学和地图学知识，而且是很重要的。可以说，地理学和地图学知识越丰富，加上充分发挥人的视觉思维能力，就能通过目视分析从地图上获取更多的地理信息。

二、地图图解分析法

地图图解分析较之前述地图目视分析应该是更深入和更专业化了。它是通过作图改变原来的制图表象，使之成为更适合地图分析目的的形式，即对原来的地图进行加工和变换，使被分析的对象的图像得到增强或突出。地图图解分析包括如下几种方法。

（一）剖面图法

此法是以直观图形显示制图对象的立体分布，根据等值线制作剖面图是自然地理学和地貌学中常用的图解分析方法。例如：根据地形图或地势图上的等高线可制作地形剖面图，用于显示地形的起伏变化，研究地表的起伏特征和切割密度或切割深度（图 17.1）；根据人口图、降水量图、气温图等各种主题地图上的等值线亦可制作相应的主题剖面图，以直观反映各种现象分布的基本特征，如果将不同专题的剖面图（地形、地貌、土壤、植被等）叠加起来，便可直观地得知专题要素之间在垂直方向上的关系（图 17.2）；从一个点向四周作剖面图并将它们结合起来，可得知该点对四周的通视情况。

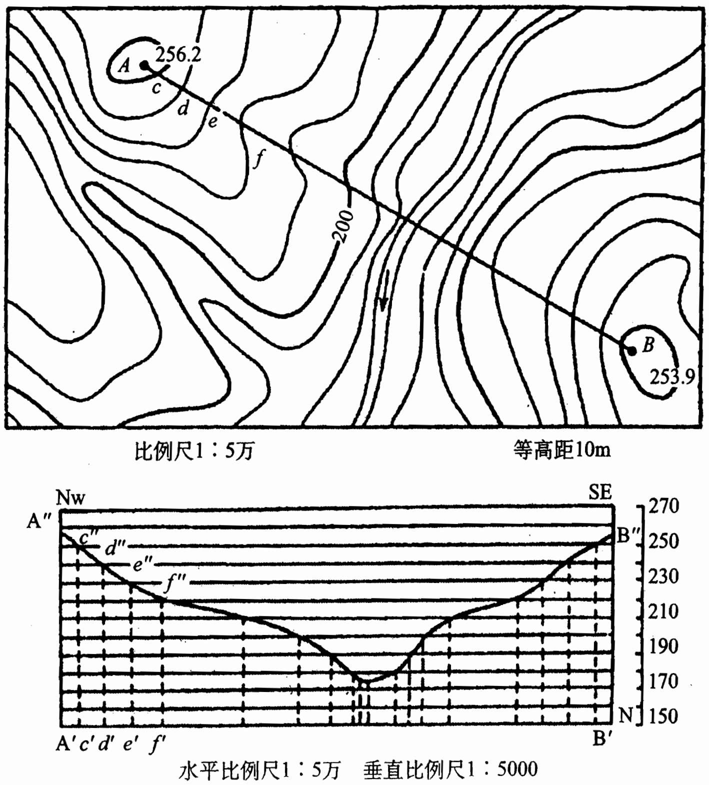


图 17.1　地形剖面图示例

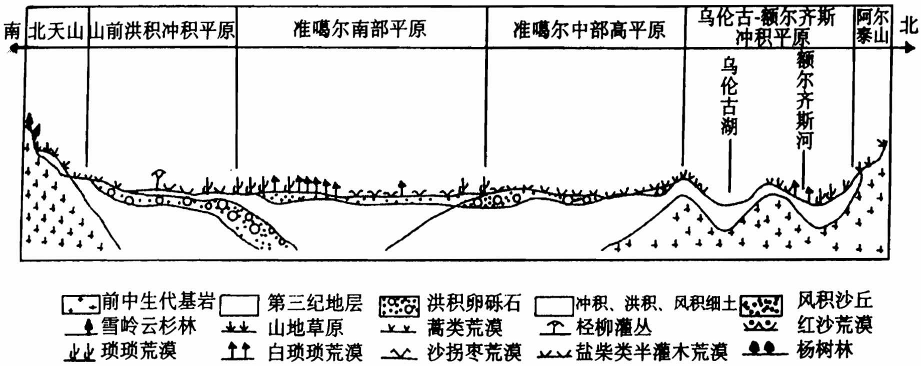


图 17.2　综合剖面图示例（据《中国自然地理图集》）

（二）块状图法

考虑到在二维平面地图上表达的三维图形（如等高线图）不直观，可用图解方法将其制作成视觉三维的立体图形，称其为块状图。块状图可以表现各种各样的主题。例如：地质与地貌块状图，表示地球表层结构、地表起伏及地质与地貌关系；地球物理块状图，反映地球内部物理结构；地理景观块状图，表示地貌和土壤、植被关系的特征；海洋块状图，反映海洋水质分布、含盐量和深部洋流等现象等。根据制作块状图的投影方式的不同，将其分为以下两类。

1. 轴侧投影块状图

轴侧投影块状图是采用平行光线从高空向地面投影，同样高度的制图物体的图像处处相等，但矩形网络是以平行四边形出现的。此法常用来显示地貌与地质的关系，此时需用地形图作基本资料，地质图或地质剖面图作辅助资料。基本方法与过程（图 17.3）是：首先，将地形图上的矩形网络变换成 X、Y 轴的夹角为 120°的形式，网格边长保持不变，地图表象随着网格的变换作相应的变换；接着，确定垂直比例尺，通常取地图比例尺的 2～5 倍，地表起伏小的地区垂直比例尺还可放大；然后，依变换后的地图表象由高到低依次准确绘出各条等高线，转绘水系图形，绘出块状图的表面图形；最后，在分块图顶面的下边根据垂直比例尺绘出侧面的边界，并根据地质图转绘地质剖面图形。

2. 透视投影块状图

此类块状因采用透视投影方法制作，透视投影是有灭点的投影，又分为平行透视和成角透视两种，分别得平行透视块状图和成角透视块状图。

平行透视投影是具有一个灭点的透视投影，又称一点透视。组成矩形网格的两组平行线投影以后，一组向灭点收敛成为直线束，而另一组仍保持平行。平行

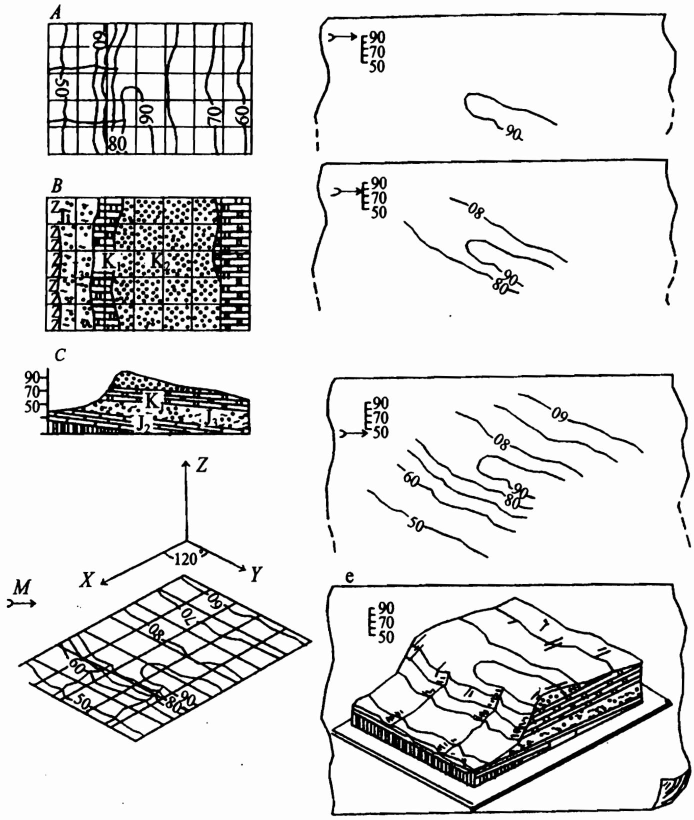


图 17.3 轴侧投影块状图示例

透视投影的块状图上，愈靠近灭点的地方，图块的宽度愈窄，高度也相应降低，正面的高度和宽度在同一个图面上保持不变，但在侧面，地面相等的高度、其位置愈接近灭点，在图块上就变得愈小，直至消失在灭点方向。

成角透视投影是有两个灭点的投影，又称两点透视。组成矩形的两组平行线投影后都变成直线束。图块不平行于画面，其两个侧边都与画面形成一定的角度，并向左右两个灭点集中，相同大小的物体遵循近大远小的规则（图 17.4），其绘制方法比较复杂。

（三）图解加和图解减法

自然界常有这样的事情发生：滑坡或泥石流会使上部区域的地面降低，下部区域的地面相应增高；火山爆发会有大量的火山喷出物堆积在周围地区，使这些地区的地面增高；流水对地面不断侵蚀，使被侵蚀地面高程下降，而在河流下游地区因搬运物质的堆积使地面增高；干燥剥蚀和风蚀对地面的作用，也会产生类似的结果。可以利用等值线的图解加和图解减的方法来计算地面高程降低或增

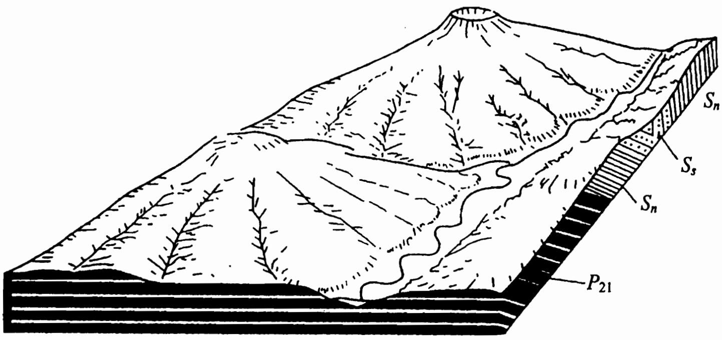
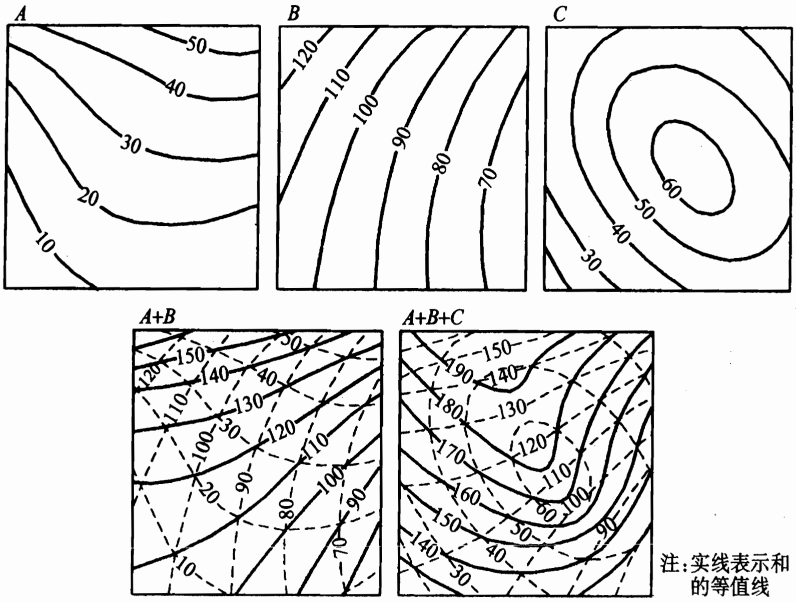


图 17.4　成角透视立体块状图示例

高量。

1. **等值线图解加**

等值线图解加是用图解的方法将两个或两个以上等值线表面叠加在一起，将等值线的交点作为控制点，两个或两个以上等值线表面的值相加作为新的值，据此内插的等值线即为两个或两个以上等值线表面相加得到的图形。如图 17.5 所示：*A*、*B*、*C* 为三个独立的等值线表面，*A*+*B* 为两个等值线表面相加，*A*+*B*+*C* 为三个等值线表面相加。当等值线表面 *A* 和 *B* 相加时，两组等值线相互交叉，构成许多四边形，把两组等值线的交点沿四边形对角线方向绘出平滑曲线，得到一组新的等值线，它们的值确定了等值线表面 *A*、*B* 的总和。用同样的方



注:实线表示和的等值线

图 17.5　等值线图解加示例

法，可以叠加等值线表面 A、B、C 或更多的等值线表面。

利用等值线图解加，除可计算因滑坡或泥石流、火山喷出物、河流搬运物质等的堆积造成地面高程的增高量外，还可用于计算不同时段的积温、地表径流总量和地下径流总量等。

2. 等值线图解减

等值线图解减是用图解的方法从一个等值线表面中减去另一个等值线表面并获得其差值的图形，也可以将等值线的交点作为控制点，用其差值作为新值内插等值线，据此内插的等值线即为两个等值线表面的值相减得到的图形。当等值线交点很少时，可以利用在两张图上均匀布置的网点作为控制点，不过这时需要增加各点分别在两个等值线表面上的读数步骤，方能得到所需结果。图 17.6 表示两个等值线表面的图解减，A 是原始等值线表面，B 是侵蚀后的等值线表面，欲知侵蚀的总量，即用图解法从等值线表面 A 上减去等值线表面 B。其方法仍然是将等值线表面 A 和 B 叠加起来，通过两组等值线的交点连线，不过这时得到的图形是两等值线表面之差。根据该图上的等值线计算出体积，即为被侵蚀掉的物质的体积。

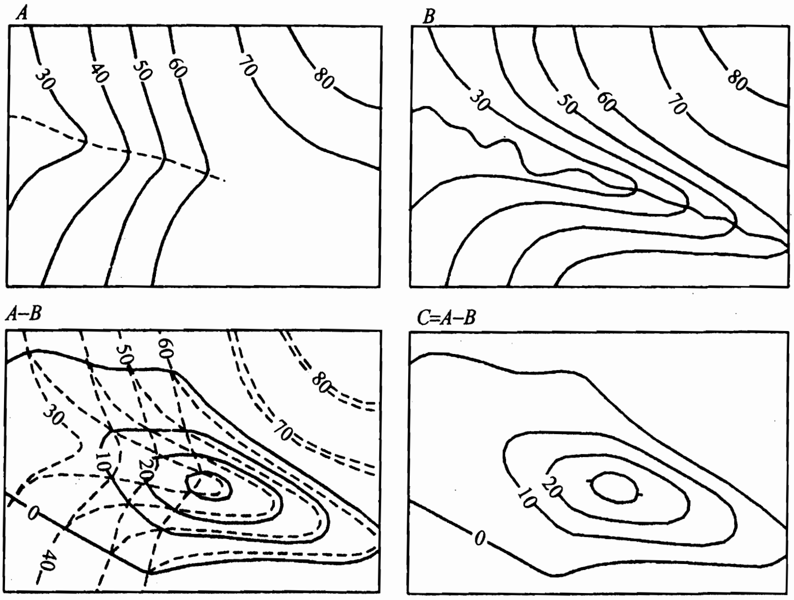


图 17.6 等值线图解减示例（用图解减研究谷地侵蚀的量）

利用等值线图解减，除可用来计算被滑坡或泥石流移动的物质的体积外，也可用于计算河口三角洲（如黄河三角洲）泥沙沉积的数量和速度，还可用于计算不同时段的降雨量、气温、日照、太阳辐射等气候要素的差别和人口密度等社会经济现象的变化。

三、地图图解解析法

地图图解解析分析是综合运用图解（作图）和解析（计算）的方法获得分析结果的方法。

（一）等值线表面分解的图解解析法

将一个用等值线表示的面即等值线表面分解为趋势面和剩余面，可以采用以下两种图解分解法。

1. *展平剖面图分解法*

在进行道路（铁路、公路等）选线和市政建设时，研究地形起伏的趋势往往只需从大处着眼，而不必考虑剖面图上小的碎部，这时需用光滑的方法绘制展平的剖面图。绘制的基本方法如下：

在要展平的剖面的整个长度上给出一组等间距的垂直线（垂直于横坐标轴），它们同横坐标轴的交点称为步距点。显然，间距愈大，展平的程度愈大，间距大小可视任务要求而定。

对垂线与剖面线的交点按顺序编号，并将它们两两间隔地连接起来，如图 17.7 中的 0—2，1—3，2—4，3—5，…。这些连线同垂线相交，得到新的交点 *a*、*b*、*c*，…。连接交点 *a*、*b*、*c*，…，就得到一个新的被展平的剖面。这个剖面代表该地段基本的特点。

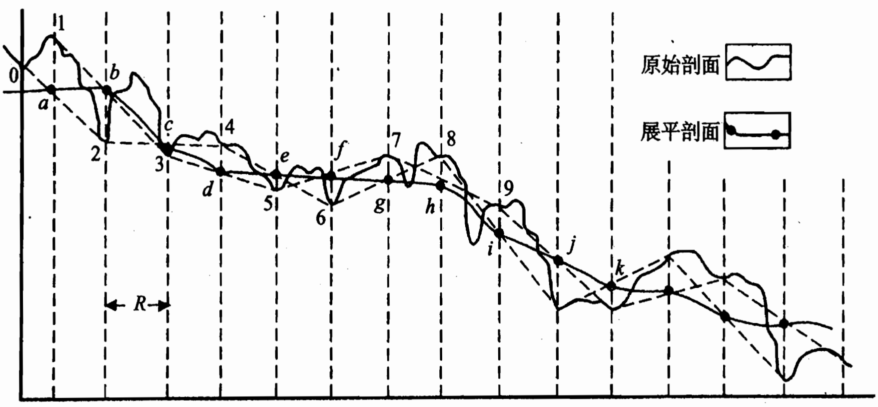


图 17.7　展平剖面图分解表面示例

每个步距点上都可以读出两个高程，即原始剖面的高程 $h_{原}$，展平剖面的高程 $h_{展}$，其高差为 $\Delta h = h_{原} - h_{展}$。

如果展平的对象是研究区域的等高线表面，则首先要在研究区域内布置等间距的网点，然后沿每一横排网点作剖面图，并将其按上述方法展平。这时，可以得到每个步距点在原始表面上的一组高程 h_i 和展平表面上的高程 h_{bi} 及它们之间的高差 $\Delta h_i = h_i - h_{bi}$。根据 h_{bi} 这一组高程内插的等高线即为趋势面，根据 Δh_i 这一组数据内插的等高线即为剩余面。

2. 网点平均分解法

此法主要用于对等值线表示的区域表面的分解。其基本方法如下：在等值线区域表面上布置六角形网点，每个六角形都有包括其中心点在内的 7 个点。根据等值线读出每个六角形的 7 个点的高程并计算其平均值，将该值赋予六角形的中心点，这一组值为 h_{bi}，即趋势值，它们和 h_i 的差值 Δh_i 为剩余值；分别根据 h_{bi} 和 Δh_i 内插等值线，即得趋势面和剩余面。

（二）标志等值线表面形态特征的图解解析法

等值线表面形态特征的标志很多，例如等高线表面形态特征的标志有地面平均高度、地面坡度、地面切割深度和地面切割密度等。

1. 地面平均高度的图解解析法

地面平均高度即高程平均数，具有统计学中的平均数的性质。为了在传统地图上求得地面平均高度，可在等高线地图上覆盖网点模片（图 17.8），读出每个网点的高程值，再按以下公式求得平均值，即平均高度：

$$H_{平均} = \frac{\sum h_i}{n} \tag{17-1}$$

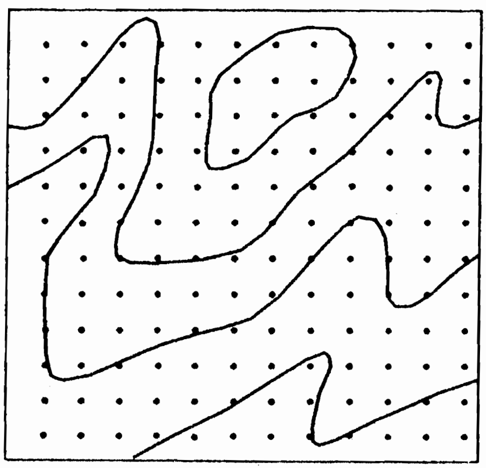


图 17.8 地面平均高度图解解析法示例

式中：$H_{平均}$为平均高度；h_i 为网点高程；n 为网点总数。

采用读出每个网点高程计算平均高度的方法比较麻烦，可采用分组统计的方法，即统计出每相邻两条等高线间的网点数，然后按下式计算平均高度：

$$H_{平均}=\frac{\sum n_i \cdot z_i}{n} \tag{17-2}$$

式中：n_i 为相邻两条等高线间（高程段）的网点数；z_i 为相邻两条等高线间的高程平均值；n 为网点总数。

此法还可应用于通过等值线求取平均降雨量、平均温度及其他现象的平均值。

2. *地面坡度的图解解析法*

地面坡度是等值线表面形态特征的主要标志之一。利用图解解析法获取地面坡度，除直接利用两脚规和坡度尺在地形图上量测和读取外，还可以用方格网图解法量测地面坡度，也可以用计算法测定地面坡度。

用方格网图解解法量测地面坡度的方法用于地面坡度大于 30°的情况（图 17.9）。当地面坡度小于 30°时，采用两脚规和坡度尺直接量测。利用此法量测地面坡度要首先准备三个工具：其一，在一张透明胶片上用相等间隔制作方格网，横向 L 表示等高线间的水平距离，纵向 h 表示相应等高线间的高差；其二，在方格网的上方作一复比例尺；其三，以方格网中的 O 为圆心，以略大于 L 的长度为半径，作四分之一大圆，圆弧上刻出 1°至 90°的分划。使用时，首先用复比例尺量测所求等高线间的水平距离，查出相应等高线间的高差，如在 1 ∶ 5 万比例尺地图上量得相邻 11 条等高线间的水平距离为 160m，假设每一方格的长宽

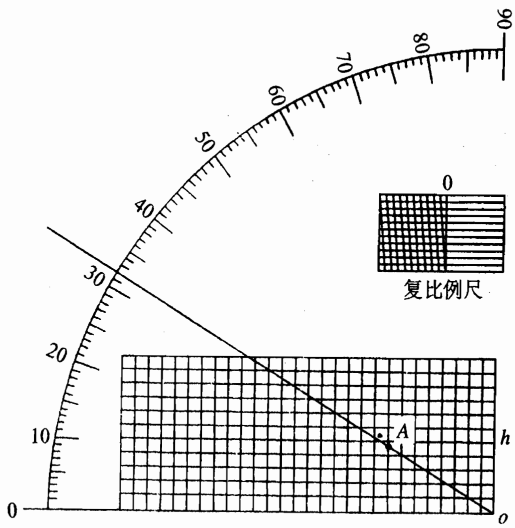


图 17.9　方格网图解解析法量测地面坡度示例

分别均为 20m，L 为 160m 即 8 个方格，h 为 100m 即 5 个方格，其交点为 A；然后用一直尺通过 O、A 两点与大圆弧相交于 32°，即为所求的坡度。

用计算法量测地面坡度的基本原理是：根据坡度角的正切值

$$\tan 1° = 0.0175 \approx \frac{1}{57}$$

导出

$$正切 = 高差 / 水平距离$$

为计算简便起见，取$\frac{1}{60}$代替$\frac{1}{57}$，于是有

$$坡度 = \frac{高差 \times 60}{水平距离} \tag{17-3}$$

或

$$坡度 = \frac{高差 \times 50}{水平距离} \tag{17-4}$$

根据经验，水平距离大于高差的 3 倍时用公式（17-3）计算，水平距离小于高差 3 倍时用公式（17-4）计算。利用此法确定地面坡度，其误差一般在 2°左右，满足一般图上作业的要求。

3. *地面切割密度的图解解析法*

地面切割密度指的是单位面积内切割线长度，用数学公式表达如下：

$$D = \frac{\sum L}{p} \tag{17-5}$$

式中：$\sum L$ 为切割线总长度；p 为区域面积；D 为单位面积内的切割线长度。

作为等值线表面形态特征标志指的是地面谷地网密度，即单位面积内的谷地长度。

在这里，谷地网的总长度在精度要求不太高的情况下可采用透明方格模片统计法测定（图 17.10）。此法的基本步骤是：首先，作一边长为 d 的正方形透明方格模片；然后，将其蒙在被量测的地图上，被量测的谷地线同正方形方格边的交点的数量与它们的总长度成正比，即

$$L = \sum l_i = \frac{\pi}{4} = dN \tag{17-6}$$

式中：L 为谷地线总长度；l_i 为每条谷地线长度；d 为透明方格模片网边长；N 为谷地线与方格网边的交点数。

为提高量测精度，可将模片随机地放置两次或多次，使模片网格同地图构成不同的方向，得到不同交点数，最后求其平均值。根据利用大比例尺地形图量测的经验，用边长 2～4mm 的方格模片量测时的相对误差为 3%～5%左右。

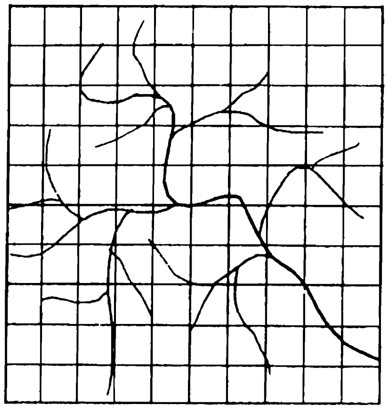


图 17.10　透明方格模片统计法测定谷网总长度示例

在地图上量测区域面积，亦可采用透明方格模片法，此处不详述。

4. *地面切割深度*

地面切割深度，指斜坡上任意一点沿最大倾斜方向到谷底的高差，切割深度值相等的点的连线即为地面切割深度等值线；在谷底线上，从等高线与谷底线的每个交点向上一条等高线作垂线，即得同一谷底为一个等高距高差的一组切割深度等值点，将这些点连线即得切割深度等值线；采用同样的方法可得其余各条切割深度等值线。

四、地图解析法

地图解析法是根据在地图上提取的被研究的数据，建立相应的数学模型，经过数据处理，抽象出现象分布和联系的规律性，作为地理解释的参考。

在客观世界，各种地理要素（现象）并不是孤立的，它们相互影响，相互制约，彼此之间存在着一定的联系，具有一定的分布规律，可以用数学方法进行分析研究。这里，介绍利用相关系数分析地理要素（现象）间的相互联系规律。

相关系数是评价要素（现象）间联系紧密程度的最简的方法之一，它利用相关系数 r 值的大小来判断，r 值处于 $+1$ 和 -1 之间。若 $r=+1$，则表示要素间完全正相关；若 $r=-1$，则表示要素间完全负相关；若 $r\to 0$ 时，则要素之间的相关性变弱甚至不存在相关关系。

为了计算相关系数，必须抽样观测两组数据（样本值），然后将它们描绘在坐标纸上构成图解分布图。若点在地图上是散乱的和无规律性的，则说明要素间缺乏联系；若点在图上呈带状分布，不论是直线或曲线，都说明要素之间的联系是存在的。而且这条带越窄，相关性越好。

1. 简单线性相关系数法

在一般情况下，当两种要素之间为直线相关时，就要研究它们之间的相关程度和相关方向。所谓相关程度，就是研究它们之间的相关关系是否密切；所谓相关方向，就是两要素之间相关的正或负。相关程度和相关方向可以用相关系数来衡量。

设 X 和 Y 为两种地理要素，x_i 和 y_i 分别为它们的样本值（$i=1, 2, \cdots, n$），则简单线性相关系数可用下式计算：

$$r = \frac{\delta_{xy}}{\sqrt{\delta_{x^2} \cdot \delta_{y^2}}} \tag{17-7}$$

式中：$\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i$，$\bar{y}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}y_i$，$\delta_{x^2}=\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2$，$\delta_{y^2}=\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2$，$\delta_{xy}=\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})$，$n$ 为样本数。

需要指出的是，当地图要素（现象）之间的联系表现为曲线相关时，则可取对数变成直线相关的形式，同样可描述现象之间的相关关系。

表 17.1 是利用《山西省自然地图》(1984) 中的地貌切割密度图和年降水量分布图，量测得到的规则格网点的 74 个样本值。

利用“滑动窗口法”计算了选定的 43 个点的相关系数，每个点的相关系数是用该点周围的 9 组数据算得的。计算结果列于表 17.2。

表 17.1　年降水量 x(单位：mm) 与切割深度 y(单位：m)

点号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
x	420	430	480	400	410	440	425	460	416	350	510	480	425	510	400
y	20	40	200	400	80	300	300	400	600	40	600	600	500	1200	350
点号	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
x	420	480	520	480	750	400	550	480	510	420	440	520	500	430	480
y	300	100	800	1000	1400	400	700	350	45	50	300	400	800	300	100
点号	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
x	520	580	480	510	610	520	880	500	630	600	430	480	520	500	540
y	600	150	300	400	900	800	50	300	300	800	250	100	300	500	600
点号	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
x	530	620	510	540	480	750	590	540	520	570	590	520	600	630	640
y	400	700	700	350	250	800	180	200	300	600	750	300	500	500	500
点号	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	
x	680	520	480	500	610	680	620	650	720	490	520	580	850	580	
y	700	550	50	50	500	500	350	200	450	50	50	700	800	1200	

表 17.2 相关系数值

点　号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
相关系数	0.311	−0.417	0.448	0.833	0.718	0.878	−0.249	0.239	0.350	0.752	0.536
点　号	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
相关系数	0.458	0.086	0.766	0.748	0.645	0.510	0.541	0.531	0.664	0.607	0.422
点　号	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
相关系数	0.482	0.552	0.470	0.430	0.485	0.605	0.661	0.553	0.582	0.558	0.845
点　号	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	
相关系数	0.821	0.600	0.276	−0.081	0.825	0.730	0.463	0.481	0.595	0.422	

根据43个点的相关系数值，绘制相关系数等值线图（图17.11）。分析图17.11可知，地貌切割深度受年降水量的影响随着区域的变化而变化。虽然总体而言全省地貌切割深度和年降水量二者之间的相关程度不高，但对局部地区来说二者关系密切。特别是在应县、繁峙、灵丘、广灵、浑源、临县、陵川、平顺等

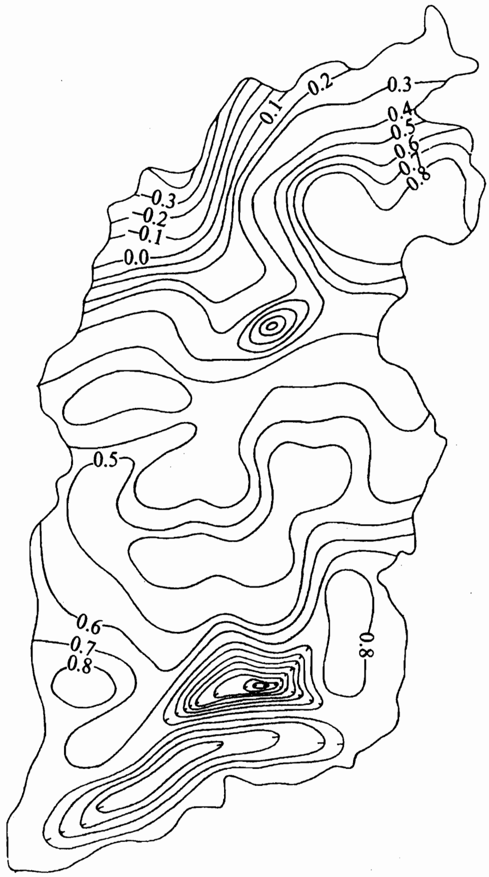


图17.11　山西省年降水量与地貌切割深度相关系数等值线图

地区，即恒山、五台山、太白维山、紫金山等山区，相关系数值均在 0.75 以上。而在右玉、平鲁、高平等地区出现了负相关系数。可见降水量对地貌切割深度的影响有很大的地域差别，影响地貌切割深度的还有其他一些因素，如土质等。

2. 顺序（等级）相关系数法

地理环境系统中的某些地理要素（现象），可能无法进行精确的数量估计，但可以用顺序或等级作为估量的标志，这时可以采用顺序（等级）相关系数法，即表示两种现象（或变量）顺序（等级）间线性相关程度和方向的系数。计算顺序（等级）相关系数的斯比尔门公式为

$$r_s = \frac{3\sum_{i=1}^{n} x_i y_i}{n(n-1)(n+1)} \tag{17-8}$$

式中：$x_i=2\left[\rho_i^x-\frac{n+1}{2}\right]$，$y_i=2\left[\rho_i^y-\frac{n+1}{2}\right]$，而 ρ_i^x、ρ_i^y 是标志 x_i 和 y_i 的编号。

r_s 的值位于－1 与＋1 之间。若 $r_s=+1$ 时，则两列完全相等，即 $x_i-y_i=0$；若 $r_s=-1$ 时，则两列完全相反，即 $x_i+y_i=0$。

如果对每种现象（变量）按照两个被比较的标志计算编号之差 d_i，则计算顺序相关系数的斯比尔门公式为

$$r_s = 1-\frac{6\sum_{i=1}^{n} d_i^2}{n(n-1)(n+1)} \tag{17-9}$$

式中：$d_i=\rho_i^x-\rho_i^y$。

如有两幅某县地图，均以乡作为分区单位，分别表示各乡粮食总产量和各乡的耕地面积，ρ_i^x 表示各乡粮食总产量的等级编号，ρ_i^y 表示各乡耕地面积的等级编号，利用（17-9）式算得等级相关系数 $r_s=0.87$，说明两幅图分别表示的各乡粮食总产量和各乡耕地面积的等级之间相关密切。

3. 偏相关系数法

由于地图上表示的地理要素是一个多要素系统。假设 A、B、C 为一个三要素系统，在研究要素 A 和 B 的关系时，要求完全排除第三种要素 C 对它们可能产生的影响，其方法是计算要素 A、B、C 两两之间的相关系数，得 r_{ab}、r_{ac}、r_{bc}，然后按下式计算要素 A、B 与 C 之间的相关系数，即偏相关系数为

$$r_{ab/c} = \frac{r_{ab}-r_{ac}\cdot r_{bc}}{\sqrt{(1-r_{ab}^2)(1-r_{bc}^2)}} \tag{17-10}$$

例如，现有同一地区的三幅专题地图，分别表示全年降水量 A、侵蚀强度 B 和地貌类型 C，利用（17-7）式，分别求得两两之间的相关系数分别为：$r_{ab}=0.654$，$r_{ac}=0.863$，$r_{bc}=0.757$，利用（17-10）式计算排除第三种要素影响后

某两种要素之间的相关系数分别为：$r_{ab/c}=0.002$，$r_{ac/b}=0.744$，$r_{bc/a}=0.504$。

该例说明：排除地貌类型 C 的影响，侵蚀强度 B 和降水量 A 之间基本上没有什么相关关系；排除侵蚀强度 B 的影响，地貌类型 C 和降水量 A 之间关系密切；排除降水量 A 的影响，地貌类型和侵蚀强度之间也有一定程度的相关关系。

4. 复相关系数法

地图上表示的地理要素（现象）之间的关系往往是比较复杂的，一种要素（现象）的变化往往同时受到多种要素（现象）的综合影响，用简单线性相关系数法或偏相关系数法都不能反映这种综合影响，这时就要采用复相关系数法来解决。

假设有三种要素 A、B、C，计算复相关系数的公式如下：

$$R_{abc}=\sqrt{\frac{r_{ab}^2+r_{ac}^2-2r_{ab}\cdot r_{bc}\cdot r_{ac}}{1-r_{bc}^2}} \tag{17-11}$$

例如，从专题地图上获得同一地区的粮食产量、耕种面积、农机马力数三种要素的原始数据，根据样本值计算两两之间的相关系数分别为：$r_{ab}=0.872$，$r_{ac}=0.644$，$r_{bc}=0.632$。将它们代入（17-11）式，得 $R_{abc}=0.880$，表示耕地面积和农机拥有量对粮食产量的影响略高于耕地面积单项对粮食产量的影响。

第三节　数字地图分析的基本方法

在电子计算机环境下，数字地图不但为地图分析提供了许多方便，而且具备了更多的分析功能，速度更快，精度更高。

一、利用数字地图进行基本的量算

利用数字地图可以对地面点高程、任意两点间的距离、任意多边形的面积、体积（挖方/填方）、坡度、坡向等进行量算。

（一）高程量算

1. 地面任意点的高程

（1）距离加权法

一般基于数字高程模型（DEM）数据求任意一点的高程值，首先要判断这个高程点在 DEM 格网中的位置（即属于哪一个网格，格网行列值），然后用对距离的加权法求出这一点的高程。其判别式为

$$\begin{cases} Lin=(\text{int})[(\text{LDownPos}.y-Y\min)/\text{Dis tan ce_}Y+0.5] \\ Col=(\text{int})[(\text{LDownPos}.x-X\min)/\text{Dis tan ce_}X+0.5] \end{cases} \tag{17-12}$$

式中：LDownPos 为所求点的坐标，Dis tan ce _ X、Dis tan ce _ Y 分别为格网的横纵间距，Xmin、Ymin 分别为格网的最小坐标值。计算高程值公式为

$$H=\sum_{L=1}^{4}P_LH_L\Big/\sum_{L=1}^{4}P_L \tag{17-13}$$

式中：权 P_L 是距离 d_L 的函数，$P_L=1/d_L^u(u\geqslant0$，一般取 1 或 2)，d_L 是所求点到格网点的距离。

(2) 拟合面法

趋势面拟合法求任意点高程，一般控制在二次多项式以内。如图 17.12 所示，在邻域范围内，以 X 为横坐标，Y 为纵坐标，Z 为高程，按最小二乘法拟合平面，得

$$Z=AX+BY+C \tag{17-14}$$

一般选取离所求点 A（X_0，Y_0）最近的三个格网点拟合平面，通过已知格网点的坐标和高程解算出平面表达式系数 A、B、C，那么

$$Z_A=AX_0+BY_0+C \tag{17-15}$$

如图 17.13 所示，在邻域范围内选择距离所求点 $A(X_0，Y_0)$ 最近的 6 个点拟合二次曲面

$$Z=aX^2+bXY+cY^2+dX+eY+f \tag{17-16}$$

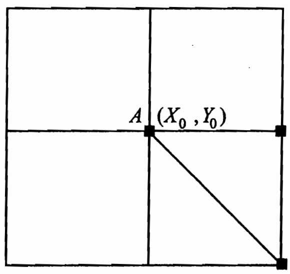


图 17.12　三点拟合面法

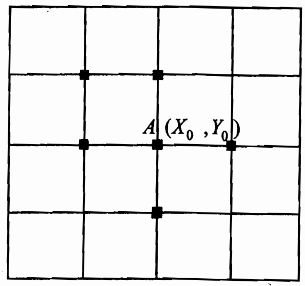


图 17.13　六点拟合面法

通过已知格网点的坐标和高程，解算出二次曲面表达式系数 a、b、c、d、e、f，那么

$$Z_A=aX_0^2+bX_0Y_0+cY_0^2+dX_0+eY_0+f \tag{17-17}$$

2. 一定区域的平均高程

这里指局部地区平均高程，是用 DEM 数据计算鼠标在屏幕电子地图上确定的闭合区域的平均高程。

计算时首先要判断所求区域所在的格网范围，即格网的行列范围 ColMin、ColMax、LinMin 和 LinMax，然后在此格网范围内，用“点在区域内外的判别”

算法逐点判断是否在区域内，最后用所有在区域内的格网点计算平均高程（图17.14），即

$$EverHight=\sum H[i][j]/Num \tag{17-18}$$

式中：Num 为区域内的格网点数；$i\leqslant Col$Max，$i\geqslant Col$Min，$j\leqslant Lin$Max，$j\geqslant Lin$Min。

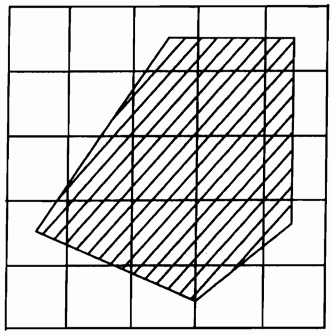


图 17.14　区域内平均高程计算原理

（二）距离量算

距离量算包括水平距离、直线距离和地表距离三种，如图 17.15 的（a）、（b）、（c）所示。其中直线距离无实际意义，一般不予考虑。

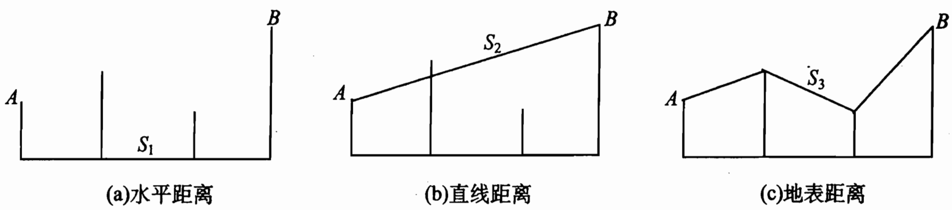


图 17.15　距离量算类别

一般在计算水平距离和地表距离时，利用鼠标在屏幕地图采点，计算两点之间的距离和所行轨迹的总距离，如图 17.16 所示。

1. 水平距离

水平距离是指地形表面上两点之间的水平直线距离，一般用如下公式表示：

$$D_{ij}=[(x_i-x_j)^2+(y_i-y_j)^2]^{1/2} \tag{17-19}$$

2. 地表距离

地表距离是指地形表面上两点之间沿地形表面的距离。计算方法是：先求出这两点所在的 DEM 格网的范围，再在此范围内，让两点连成的线段和 DEM 格

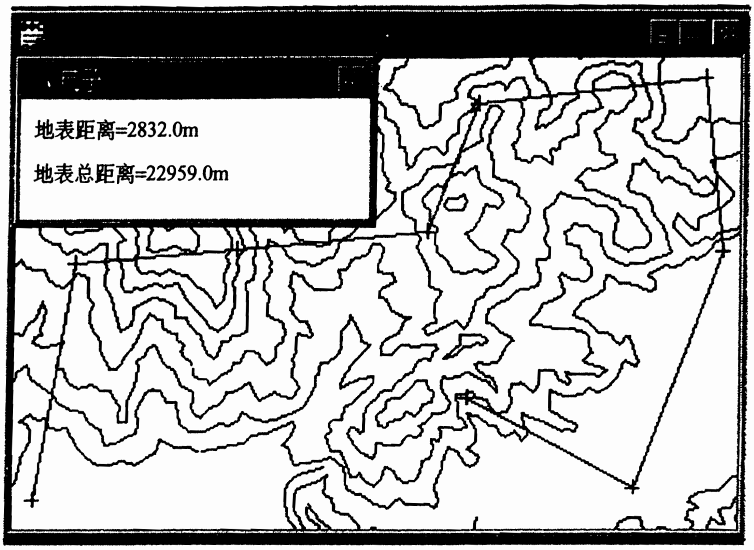


图 17.16　地表距离量算示例

网求交（用求线段和线段的交点法），然后把所求交点按离始点的距离排序，最后计算两两交点之间的近似地表距离，即

$$D_{ij}=[(x_i-x_j)^2+(y_i-y_j)^2+(h_i-h_j)^2]^{1/2} \tag{17-20}$$

（三）面积量算

面积量算是指计算屏幕地图上确定的闭合区域的曲面面积和该面积占总面积的百分比。面积量算的结果直接为挖方、填方的体积计算所用。

闭合区域的面积是指区域内格网曲面面积的累加。格网的曲面面积计算公式为

$$S=[D_y^2\cdot(h_{i,j}+h_{i,j+1}-h_{i+1,j}-h_{i+1,j+1})^2/4 + D_x^2\cdot(h_{i,j+1}-h_{i+1,j+1}-h_{i,j}-h_{i+1,j})^2/4+D_x^2D_y^2]^{1/2} \tag{17-21}$$

式中，D_x、D_y 分别为格网的横、纵间距。在计算一定区域的面积时，首先要判断区域中有多少格网被区域边界切割，切割的格网面积要单独计算，一般计算切割后的格网占原格网面积的比例，即

$$S'=\frac{m}{n}\cdot S \tag{17-22}$$

于是，区域面积为

$$S_{区域}=\sum S+\sum S' \tag{17-23}$$

（四）体积量算

在大型土石方工程中，有“挖方”和“填方”两个概念。对某一块土地，需要平整成某一海拔高度，即在这一高度以上的土石方要被挖去，其挖去的体积叫“挖方”；而在这一高度以下的地要填平，其所要填充的空间叫“填方”。体积测量就是挖方和填方的测量。

在计算挖填方体积前，用户需输入一个高度参数 h_0，即需要平整的海拔高度。计算挖填方体积的基本原理是：先计算出指定区域的每一个 DEM 格网的地表面积（被区域边界切割的格网要单独计算），再计算每个格网的平均高程和每个格网及输入高度参数之间的高差。

$$\begin{cases} V_{挖}=\sum\left[S\left(h-h_0\right)\right] \\ V_{填}=\sum\left[S\left(h_0-h\right)\right] \end{cases} \tag{17-24}$$

（五）坡度计算

坡度是地表斜面对水平面的倾斜程度，它以斜坡的形态显示丘陵、山地、平原等，因而在军事上对战术乃至战役行动产生极为重要的影响。坡度的变化对部队通行有重大影响，特别是部队在组织越野运动时都要详细研究地面坡度的变化，以便为越野运动路线选择提供重要依据。

坡度包括格网的坡度、格网点的坡度和任意一点的坡度三种，分别有着不同的用途。

1. 格网的坡度（面坡度）

地表单元的坡度就是其法向量 $\vec{n}$ 与 Z 轴的夹角（切平面和水平面的夹角），如图 17.17 所示。格网面的坡度可以用来做坡度分级图（不同坡度的格网面填充不同颜色）。

格网面坡度 G 的计算公式为 $\tan G=[(\partial Z/\partial X)^2+(\partial Z/\partial Y)^2]^{1/2}$，对于格网 DEM，如图 17.18 所示，可用如下的简化公式计算面坡度：

$$G=\arctan(\sqrt{u^2+v^2}) \tag{17-25}$$

式中：$u=\dfrac{\sqrt{2}\ (Z_a-Z_b)}{2ds}$，$v=\dfrac{\sqrt{2}\ (Z_c-Z_d)}{2ds}$，$Z_a$、$Z_b$、$Z_c$ 和 Z_d 是一个格网上的 4 个格网点的高程，ds 为格网边长。

2. 格网点的坡度

格网点的坡度值通常用于获得格网的坡度 DTM，并根据坡度 DTM 追踪坡度等值线，再用坡度等值线绘制坡度分层设色图。求格网点的坡度，一般求解该

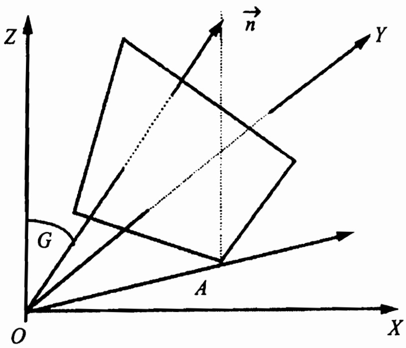


图 17.17 地表单元坡度计算

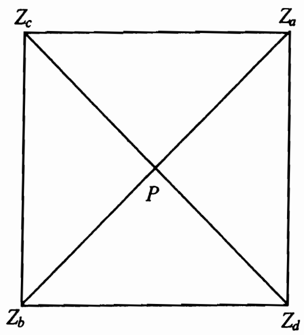


图 17.18 DEM 中面坡度计算

格网点 8 个方向的坡度，再取其最大值（图 17.19）。

$$G = \mathrm{Max}\{Gwn, Gn, Gne, Ge, Ges, Gs, Gws, Gw\} \tag{17-26}$$

式中：

$$Gwn = \arctan\left(\frac{|h_{i+1,j-1} - h_{i,j}|}{\sqrt{Dx^2 + Dy^2}}\right)$$

$$Gn = \arctan\left(\frac{|h_{i+1,j} - h_{i,j}|}{Dy}\right)$$

$$Gw = \arctan\left(\frac{|h_{i,j-1} - h_{i,j}|}{D_x}\right)$$

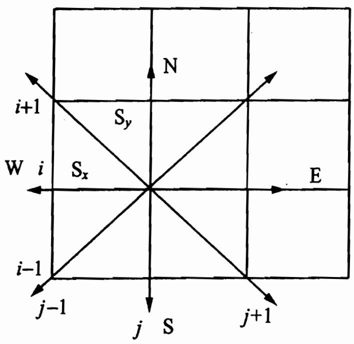


图 17.19 网格点坡度计算原理

3. 任意一点的坡度

任意一点的坡度求解通常用于坡度的量算，以提供一些地形辅助决策的依据。一般地，如果精度要求不太高的情况下，可判断所求点近似地靠近哪一个格网点，用格网点的坡度代替所求点的坡度；也可以判断所求点在哪一个格网内，再在所在格网内用距离加权法解算出这一点的坡度值。

通常，我们可以用拟合面法求解任意一点的坡度值。

在邻域范围内，以 X 为横坐标，Y 为纵坐标，Z 为高程拟合平面式 $Z=aX+bY+c$，一般选取离所求点最近的 3 个格网点拟合平面，通过已知格网点坐标和高程解算出平面表达式的系数 a，b，c，那么

$$G = \arctan\sqrt{u^2 + v^2} = \arctan\sqrt{a^2 + b^2} \tag{17-27}$$

式中：$u=\partial Z/\partial X=a$，$v=\partial Z/\partial Y=b$。

在邻域范围内选取距离所求点最近的 6 个点拟合二次曲面式 $Z=aX^2+bXY+cY^2+dX+eY+f$，通过已知格网点的坐标和高程，解算出二次曲面表达式系数 a、b、c、d、e、f，那么

$$G=\arctan\sqrt{u^{2}+v^{2}} \tag{17-28}$$

式中：$u=\partial Z/\partial X=2aX_0+bY_0+d$，$v=\partial Z/\partial Y=2cY_0+bX_0+e$。

4. **坡度分级图的绘制**

对坡度求解的结果，通常是用数字来表示的。但人们对图形表示表现出比对数字表示更强的接受能力。为此对坡度计算值进行分级并绘制坡度分级图是非常必要的。

坡度分级图的绘制原理是：求出图幅每个格网的坡度，计算出坡度值的范围，并存储在一定的内存中。用户根据坡度值的范围，自行设计坡度分级数和分级区间，即绘出坡度分级图（坡度图分级设计对话框如图 17.20 所示）。通常坡度分级图用同一种颜色的不同饱和度表示，坡度值大，色相的饱和度高（图 17.21）。

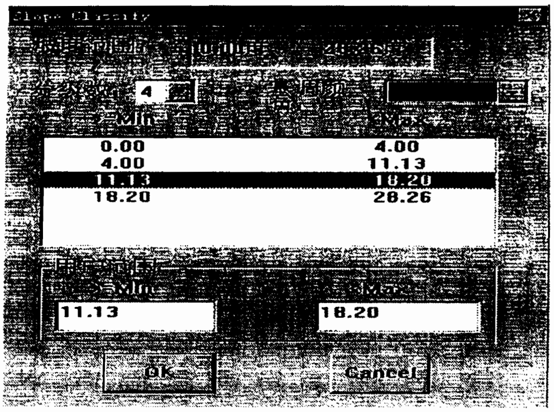


图 17.20　坡度分级图参数设置示例

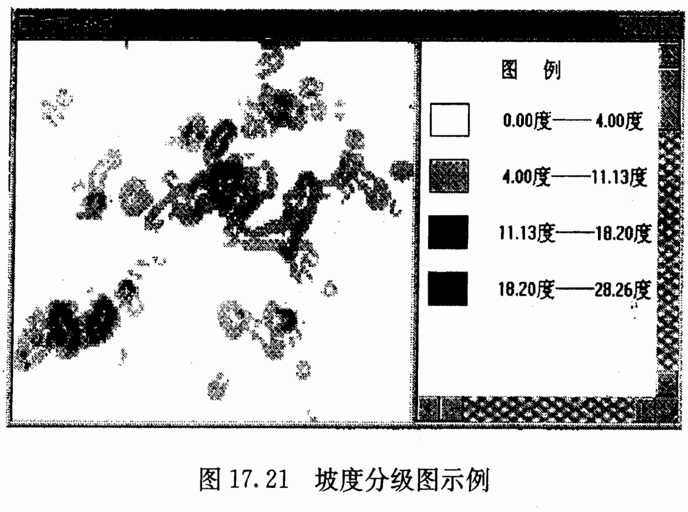


图 17.21　坡度分级图示例

（六）坡向计算

坡向是地表单元的法向量在 OXY 平面上的投影与 X 轴之间的夹角，如图 17.17 所示，A 为坡向角。坡向角一般要换算成正北方向起算的角度，通常坡向综合成 4 种，即平缓坡、阳坡、半阳坡和阴坡，其角度所在的区间范围如图 17.22 所示。

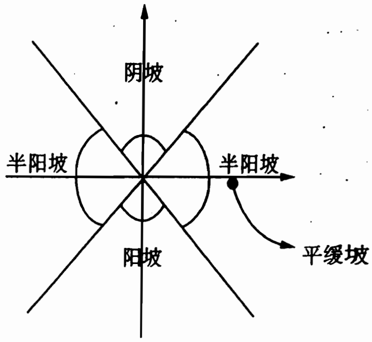


图 17.22 坡向种类的对应角度

坡向分析通常包括任意一点的坡向和格网面的坡向，前者用于坡向的量测，后者用于坡向分类图的绘制。

1. 任意一点的坡向

任意一点的坡向计算公式为

$$\tan A = \frac{V}{U} \qquad (-\pi < A < \pi) \tag{17-29}$$

式中：$V = \partial Z / \partial Y$，$U = \partial Z / \partial X$。

当 $U<0$ 时，$A=\arctan\left[(\partial Z/\partial Y)/(\partial Z/\partial X)\right]$，单位：度。其中：

$$\begin{cases} A = 0 & \text{半阳坡} \\ 0 < A < 45 & \text{半阳坡} \\ 45 < A < 90 & \text{阴坡} \\ -45 < A < 0 & \text{半阳坡} \\ -90 < A < -45 & \text{阳坡} \end{cases}$$

当 $U>0$ 时，$A=\arctan\left[(\partial Z/\partial Y)/(\partial Z/\partial X)\right]+\pi$，单位：度。其中：

$$\begin{cases} A = 180 & \text{半阳坡} \\ 90 < A < 135 & \text{阴坡} \\ 135 < A < 180 & \text{半阳坡} \\ 180 < A < 225 & \text{半阳坡} \\ 225 < A < 270 & \text{阳坡} \end{cases}$$

当 $U>0$ 时，$A=\arctan\left[(\partial Z/\partial Y)(\partial Z/\partial X)\right]$，单位：度。其中：

$$\begin{cases} V = 0 & \text{半阳坡} \\ A = 90 & \text{阴坡} \\ A = 270 & \text{阳坡} \end{cases}$$

2. 格网点的坡向（面坡向）

格网面的坡向计算公式如下（如图 17.23 所示）：

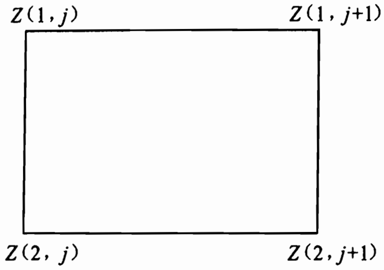


图 17.23 格网面坡向计算

$$A = \arctan(\Delta x \times A_j / \Delta y \times B_j) \tag{17-30}$$

式中：$A_j = Z_{1,j+1} + Z_{2,j+1} - Z_{1,j} - Z_{2,j}$，$\boldsymbol{B}_j = Z_{2,j} + Z_{2,j+1} + Z_{1,j} + Z_{1,j+1}$，$\Delta x$，$\Delta y$ 为格网横纵边的边长。

在实际应用中，求出的坡向 A 有 x 轴正向和 x 轴负向之分，这就要看坡向变量 A_j 和 B_j 的符号及 A 的角度值。一般有：

A==0&&B=0	平缓坡
A==0&&B>0	阳坡
A!=0&&B>0&&fabs(A)<=45	阳坡
A<0&&B=0	半阳坡
A>0&&B=0	半阳坡
A!=0&&B>0&&fabs(A)>45	半阳坡
A!=0&&B<0&&fabs(A)>45	半阳坡
A!=0&&B<0	阴坡
A!=0&&B<0&&fabs(A)<=45	阴坡

3. 坡向分类图的绘制

因为任意斜坡的倾斜方向可取 0°～360°中的任意方向，所以坡向也有类别之分。坡向一般分为 9 类，其中包括东、南、西、北、东北、西北、东南、西南 8 个罗盘方向的 8 类，另一类用于平地。采用这种坡向分类方法比较详细，实际应用中有时反而不太方便，通常进行综合，得到 4 种坡向，即平缓坡、阳坡、半阳坡和阴坡。

坡向分类图的绘制原理是：求出图幅的每个格网坡向（平缓坡、阳坡、半阳坡和阴坡，分别用 1，2，3，4 来表示），并存储在一定的内存中。用户根据需要，选择图案表示法或色彩表示法来绘制坡向分类图。坡向分类图按平缓坡、阳坡、半阳坡和阴坡，分别选择不同的图案纹理或色彩（图 17.24）。

坡向经常随地区的不同而变化，用统一分类定义后不利于强调地区特征。于是最有价值的坡向图应按类别出现的频率分布的均值和方差加以调整。

二、地形分析

（一）通视分析

通视分析有着十分广泛的应用背景。经典的例子就是观察哨的设定——观察

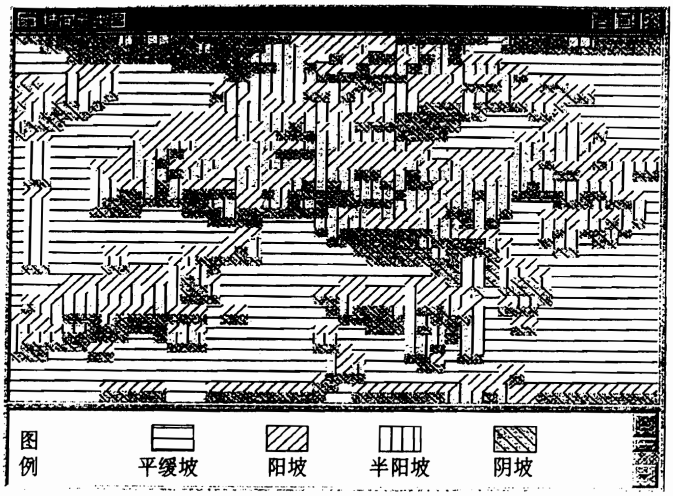


图 17.24　坡向分类图示例

哨设在能监视某一感兴趣的区域，而视线又不能被地形挡住，这就是通视分析中点对区域的通视问题。类似的还有森林中火灾监察站的设定和无线电发射塔的设定等。此外，我们还会对某点的不可见区域感兴趣，如低空侦察飞机在飞行时，就要尽可能躲避敌方雷达的捕捉。

通常，人们将通视问题归纳为以下 5 类：

1）已知一个或一批观察点 V_p，找出某一地形的可见区域。

2）欲观察到某一区域的全部地形表面，计算最小观察点数量。

3）在观察点数量一定的前提下，计算能获得的最大观察区域。

4）以最小的观察塔建造代价，使全部区域可见。

5）在给定观察塔代价的前提下，求最大可见区域。

通视图最常见的绘制方法就是用连续和断开的线段表示可见和不可见，也有用点值法表示的，但后者在三维立体图上表示通视状况比较直观。

1. 射线法

射线法是以某一观察点 O 为轴，以一定的方位角间隔算出 0°～360°的所有方位线上的通视情况，用不连续的射线（通视的地方绘线，不通视的地方断开）来绘制某一区域的通视图。

绘制射线法通视图的基本思路：如图 17.25 所示，以 O 为观察点，对格网 DEM 中的 P 点判断通视情况。首先要内插出 OP 和格网的交点 A、B、C、D、E 的坐标和高程。OP 的倾角 α 可由下式计算：

$$\tan\alpha = \frac{Z_p - Z_0}{\sqrt{(X_p - X_0)^2 + (Y_p - Y_0)^2}} \tag{17-31}$$

观察点与各交点的倾角 β_i（A、B、C、D、E、F）可由下式计算：

$$\tan\beta_i = \frac{Z_i - Z_0}{\sqrt{(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2}} \tag{17-32}$$

$i=A$，B，C，D；若 $\tan\alpha > \max(\tan\beta_i$，$i=A$，$B$，$C\cdots)$，$OP$ 通视，否则不通视。

在绘制通视线时，为精确考虑，还要求出可通视点和不可通视点之间分界点的坐标和高程。如图 17.26 所示，在观察 P 点时，A 点是可见的，B 点是不可见的，求解出 AB 之间的临界点 F_1，同理，求解出 CD 之间的临界点 F_2，这样，OP 之间的通视线就是 OF_1+F_2P，避免了忽略 AF_1 和 F_2D 两段的可能性。

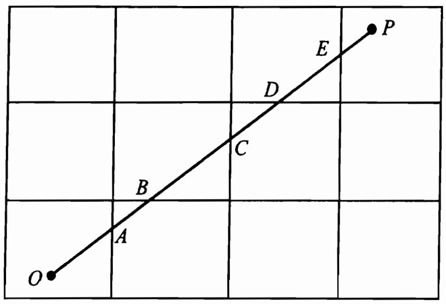


图 17.25　射线法通视图原理

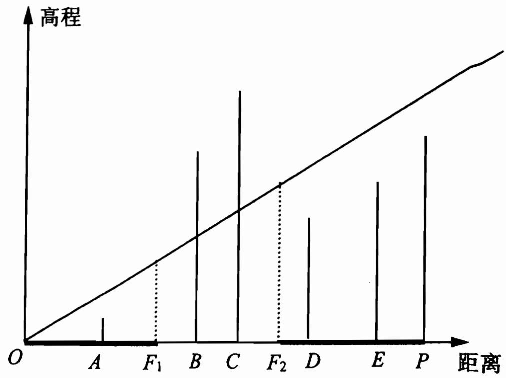


图 17.26　射线法通视图计算

在地形分析模型应用演示系统中，射线法通视图的绘制如图 17.27 所示。

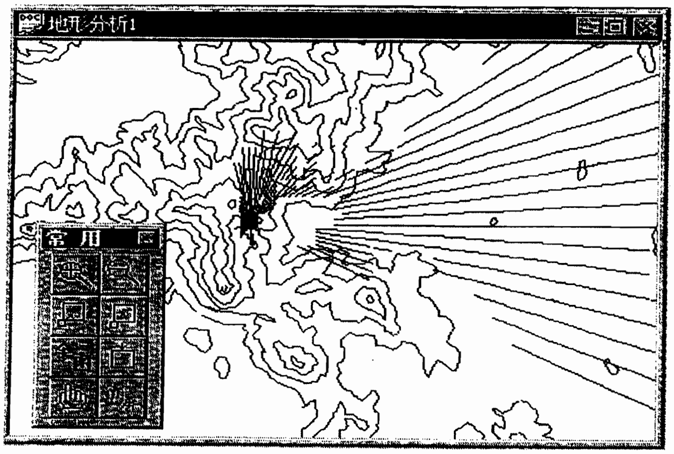


图 17.27　射线法通视图示例

2. 点值法

点值法是以打点的方式来表示区域的可见和不可见。基本原理是：以某一点 O 为观察点，求所有 DEM 格网点和观察点 O 的通视情况，通视的格网点以点值的方式表示，如图 17.28 所示。

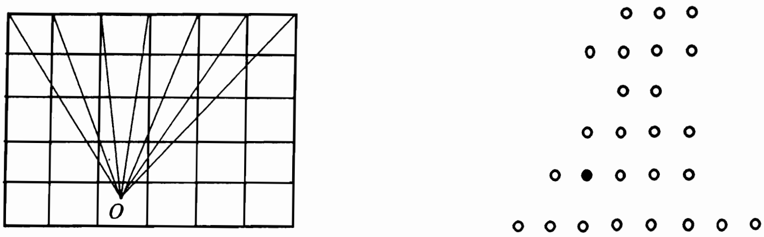


图 17.28 点值法通视图原理

点值法适用于在三维立体图上进行通视分析。一般地，我们在进行通视分析时，观察点不可能是地形表面的一点，通常是在地形表面建造一座观察塔，随着塔的升高，观察区域也相应增大，但观察塔的建造代价也随之增大，这就涉及前述的通视问题 4）和 5）。

点值法通视图的绘制如图 17.29 所示。

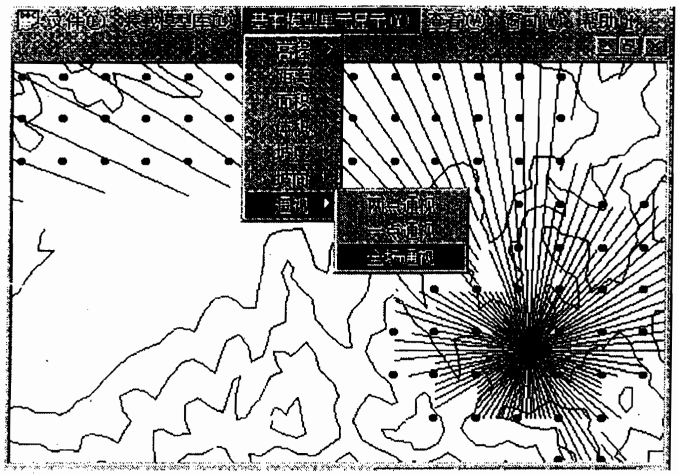


图 17.29 点值法通视图示例

（二）断面图分析

断面图分析，就是地形的剖面分析。剖面是一个假象的垂直于海拔零平面的平面与地形表面相交，并延伸其地表与海拔零平面之间的部分。研究地形剖面，常常可以以线代面，研究区域的地貌形态、轮廓形状、地势变化、地质构造、斜

坡特性、地表切割强度等。

剖面图的绘制也是在DEM格网上进行的。已知两点A和B，求这两点的剖面图的原理是：首先要内插出A、B点的高程值，这可选择以上介绍的求任意点高程的一种方法；还要求出AB连线和DEM格网的所有交点（图17.30），通过插值求出各交点的坐标和高程，并把交点按离始点（A或B）的距离进行排序；最后选择一定的垂直比例尺和水平比例尺，以各点（包括A，B点）的高程和距始点的距离为纵横坐标绘制剖面图（图17.31）。

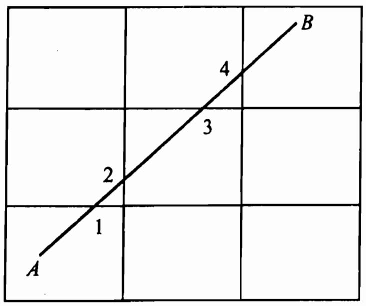


图17.30　剖面图绘制原理

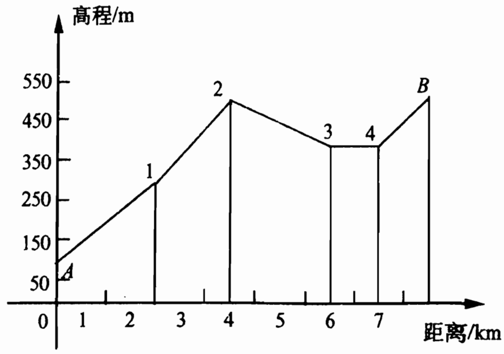


图17.31　剖面图绘制

对于内插1，2，3，4点的高程时，由于交点在格网边上（或格网点上），通常可以采用简单的线性内插算出。如图17.32所示，格网点为$A(X_1, Y_1, Z_1)$、$B(X_2, Y_2, Z_2)$，交点C的坐标为$C(X, Y, Z)$，设AC的距离为S_1，AB的距离为S_2，则C点的坐标和高程为

$$\begin{cases} X = \dfrac{X_2 - X_1}{S_2} \cdot S_1 \\ Y = \dfrac{Y_2 - Y_1}{S_2} \cdot S_1 \\ Z = \dfrac{Z_2 - Z_1}{S_2} \cdot S_1 \end{cases} \tag{17-33}$$

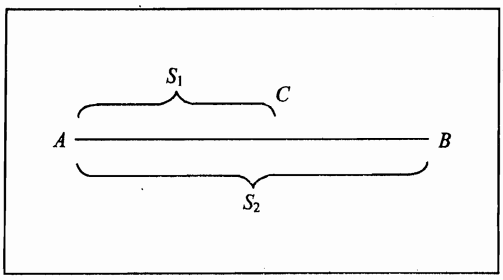


图17.32　线性内插计算示意图

剖面图不仅可以绘制两点之间的，也可以绘制多点之间的。不但可以沿直线绘制，还可以沿曲线绘制（图 17.33）。如果在地形剖面上叠加上其他地理变量，如坡度、土壤、植被、土地利用现状等，可以提供土地利用规划、工程选线和选址等的决策依据。

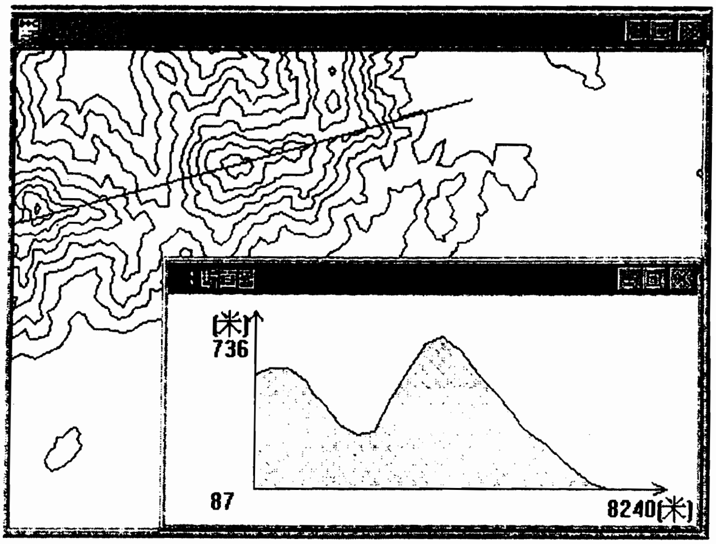


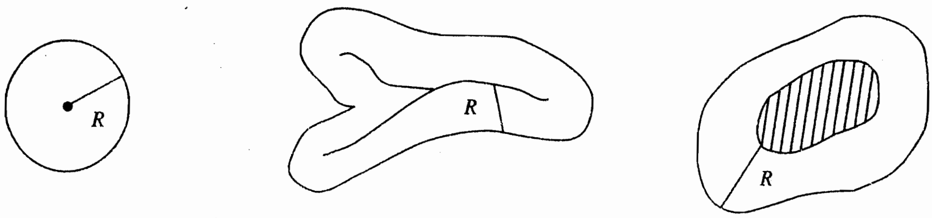
图 17.33　剖面图示例

三、缓冲区分析

根据数字地图上的给定点、线、面等空间目标，自动建立其周围一定范围的缓冲区，并在该范围内对有关地物进行查询统计分析，称为缓冲区分析。空间目标 O_i 的缓冲区为

$$B_i = \{p_i: d(p_i, O_i) \leqslant R\} \tag{17-34}$$

式中：$p_i = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \cdots, (x_n, y_n)\}$；$R$ 为缓冲距；$d(p_i, o_i)$ 指最小欧氏距离；B_i 是空间目标 O_i 的缓冲距为 R 的缓冲区，如图 17.34 所示。



点目标缓冲区　　线目标缓冲区　　面目标缓冲区

图 17.34　空间目标缓冲区示例

对于空间目标集合 $O=\{O_i: i=1, 2, \cdots, n\}$，其缓冲距为 R 的缓冲区是其中单个空间目标的缓冲区的并集，即

$$B=\bigcup_{i=1}^{n} B_i \tag{17-35}$$

四、路径网络分析

由道路的结点边构成的道路图案称为路径网络，例如城市公共汽车沿街道网运行形成公共交通网络，路径网络分析在交通运输中具有重要的实际意义。

在路径网络分析中，最典型的是最短路径分析。两点之间的最短路径，可以定义为最短实际距离、最短时间、最低运费、最大流量等。

经典的最短路径分析，可归结为两个问题：一是从某一指定点 V_1 到另一确定的点 V_2；二是路径网络图中任意两点间的最短距离。解决第一个问题通常采用迪克斯特拉（E. W. Dijkstra）算法，其关键是在网络中找出从指定点 V_1 到另一确定点 V_2 的可能通道。给起点 V_1 一个固定的标记（P 标记），通道上其他结点都给临时标记（T 标记），判断各通道上下一个结点 V_j 中哪一个与 V_1 最近，将其 T 标记改成 p 标记，其他点改换新的 T 标记；再从这一点出发，用 V_j 到 V_{j+1} 点的距离 $L_{j,j+1}$ 加上 V_1 到具有 P 标记的 V_j 间的距离 $L_{1,j}$ 之和判断，取其中最小的一个作为下一个 P 标记点；依此类推，即可获得由 V_1 到 V_2 的最短路径。解决第二个问题通常用福罗德（R. W. Floyd）提出的算法，它是在由结点集合 V 和边集合 E 组成的网络 $G=(V, E)$ 中，从 $D^{\circ}=[L_{ij}]$ 出发，依次构造出 n 个矩阵 $D^{(1)}$，$D^{(2)}$，$\cdots D^{(n)}$，矩阵的数据项根据结点的连接关系来确定，即若 V_i 与 V_j 有边连接则取其边长作为矩阵数据项，若没有边连接则数据项是 $+\infty$。假设 $D^{(k-1)}=[d_{ij}^{(k-1)}]$，则第 k 个矩阵 $D^{(k)}$ 的元素定义为

$$d_{ij}^{(k)}=\min(d_{ij}^{k-1}, d_{kj}^{(k-1)}) \tag{17-36}$$

$d_{ij}^{(k)}$ 表示从 V_i 到 V_j，而中间点仅限于 V_i 到 V_k 的 k 个点的所有通道中的最短路径长度。图 17.35 为最短路径分析的一个示例。

关于利用数字地图进行空间分析的问题，这里只是介绍一些最基本的概念和方法，至于基于数字高程模型（DEM）的地形分析，特别是基于数字地图的缓冲区分析、网络分析及这里未提及的叠置分析等，还有许多更深层次、更复杂的问题，将在地理信息系统等有关教材中详细介绍。

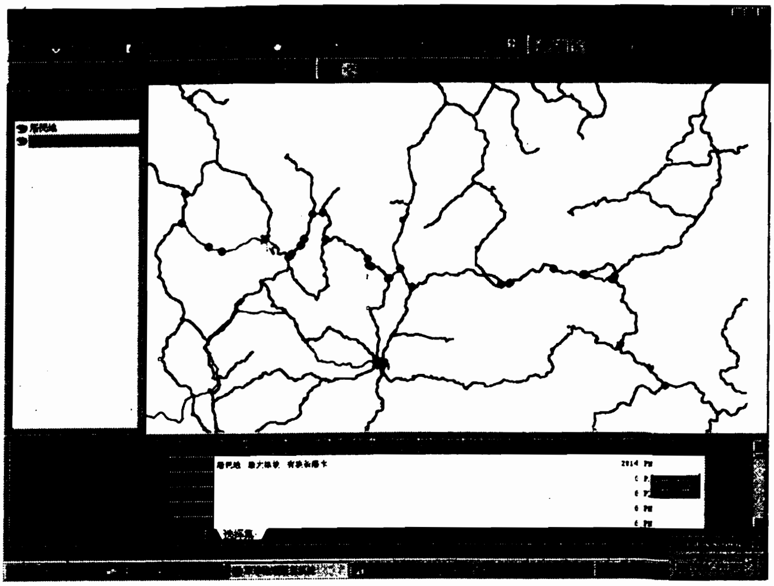


图 17.35　最短路径分析示例

第十八章　地图应用

地图的应用十分广泛，这里着重介绍地图在科学研究、国民经济和国防建设等方面的应用。

第一节　地图在科学研究方面的应用

地图在科学研究方面的应用十分广泛而深入，尤其是在地学中，地图分析已经成为重要的研究方法之一。

一、利用地图研究各种现象的空间分布规律

通过地图分析可以认识和掌握各种制图现象的空间分布规律，这是因为地图直观地反映了各种自然和社会经济现象的分布范围、质量和数量特征、动态变化，以及各种现象之间的相互联系和制约关系。

利用地图研究制图现象的空间分布规律，可以是研究一种要素（如地貌、植被等）和现象（如温度、降水、地磁、地震等）分布的一般规律和区域差异，也可以是一种要素的某种类型的分布规律和特点（如地貌要素中岩溶地貌的分布规律），还可以是自然综合体或区域经济综合体各种现象和要素总的分布规律和特点。

通过地图分析认识和掌握各种制图现象空间分布规律的例子很多。分析地形图和小比例尺普通地图可以认识和掌握水系结构与水网密度的变化规律、地貌的起伏变化（走向、相对和绝对高程）和结构（平原、丘陵、低山、中山、高山、盆地的组合）特点，居民地的类型、规模、集中与分散的形式及密度变化特点与分布规律等。分析各种专题地图（如地质图、地震图、气温图、植被图等）可以认识掌握各种专题现象的分布特点和分布规律（如地质的区域特点和变化规律，地震分布及其与大地构造关系的规律，气温和植被的变化和分布规律等）。分析普通地图和专题地图，可以认识和掌握一些要素和现象的地带性规律，如地貌的地带性规律。地貌的地带性规律是指地貌类型、形态特征随气候的变化而表现出的地带性。气候的水平地带性规律与地貌的水平地带性规律有明显相应性，如岩溶地貌的发育与分布受气候条件的影响有明显的地带性规律。热带型气候区（华南型），气候炎热，雨季长，雨量充沛，植物茂盛，地表（下）水的溶蚀作用强烈，石灰岩岩层厚度大，大片裸露地表，质地较纯，断裂多，节理发育，这些条

件对岩溶地貌的发育十分有利，因此，这些地区的岩溶地貌发育很充分，以峰林、槽谷，溶洞、伏流为主要特征；温带亚热带气候区（华中型），气温较高，降水较多，石灰岩半裸露，发育条件不如热带型气候区，各类型态虽都有发育，但不够典型；温带型气候区（华北型），这里石灰岩零星裸露，气温不高，降水较少，见不到地表岩溶地貌形态，但地下岩溶地貌形态较发育（如北京周口店的猿人洞，上方山的云水洞，济南的“泉都”等）；寒带和干旱型气候区，这些地方虽也有石灰岩分布，但由于各种气候条件不同，因而表现出不同的发育程度和形态特征。气候的垂直地带性规律与地貌的垂直地带性规律也有明显的相应性，因为气候随高度的变化而变化，所以在高山极高山地区，由高往低的不同部位出现不同的气候条件，引起外力作用形式和地貌特征的差异，呈现垂直地带性规律。在我国植被和土壤地图上，也可以分析出植被和土壤类型的地带性规律。

利用地图分析制图现象的分布规律，首先要了解地图内容的分类分级和图例符号，以便弄清制图现象的内在联系和从属关系。然后，研究制图现象的分布范围，质量差异，以及动态变化的规律。在认识制图现象分布规律的基础上，进一步认识制图现象发生、发展及同其他现象的联系。

二、利用地图研究制图现象的相互联系和制约关系

由于地图特别是系列专题地图和综合地图集具有可比性的特点，所以利用地图分析各种制图现象之间的相互联系和相互制约关系是特别有效的，一般采用对照比较各种地图的方法。

有些现象间的相互联系与制约关系是通过地形图的分析就可以看出的。例如分析地形图可知：我国江浙水网地区，分散式居民地沿纵横交错的密集河流与沟渠分布排列，在总体上有明显的方向性；而在西北干旱地区，居民地循水源分布的规律性十分明显，水的存在及其利用在很大程度上制约着居民地的分布，居民地通常沿水源丰富的洪积扇边缘，沿河流、沟渠、湖泊、井、泉分布。地貌对居民地、道路分布的制约关系，只需详细研究地形图便可得知。

采用对照比较的方法同时研究各种不同内容的专题地图，可以认识各种专题制图现象的相互联系和制约关系。例如，对照分析我国地震图和地质构造图，可以了解到强烈地震一般都发生在我国西部地槽区和东部地台区的“接合部”和地槽中间的地块边缘、地台中间的大破坏带附近。又如对照环境污染地图与工业分布地图，可以发现空气和物体污染程度与周围各种类型工厂排放的工业废气、污水之间的直接关系。

如果把普通地图和某些专题地图加以对照比较，则可以使我们在更广阔的领域内研究各种现象间的相互关系。例如，对照分析比较植被图、土壤图、气候图、地质图与地形图（或地势图），就可以发现植被和土壤分布受气候、地形、

地质的影响很大。同气候图对照，可以看出植被和土壤的水平地带性分布是由于气候的水平地带性变化造成的；同地形图对照，可以发现地形的高度、坡向、坡度对植被和土壤分布的具体影响；同地质图对照，可以得知地质岩性对植物群落和土质的影响；而对照土壤图与植被图，则更能了解到土壤与植被相互依存和相互影响的密切关系，即一定的植被下形成一定的土壤，一定的土壤上生长一定的植被（当然，也有一些植被与土壤之间只有某些联系或部分对应）。若对照土壤图和地形图，也可以看出许多土壤轮廓对地貌要素的从属性。类似的例子还可以举出很多。

分析各种制图现象间的相互联系和制约关系，除采用地图的目视分析方法外，把有关地图（最好是它们的塑料片复制品）叠置比较效果更好。也可以采用地图的图解分析法。为了揭示各种现象间相互联系的数量特征，还必须采用地图的数理统计分析法，如计算现象间相互联系密切程度的相关系数等。

三、利用地图研究各种制图现象的动态变化

由于地图上经常要反映各种制图现象的运动变化，这就为利用地图来研究制图现象的动态变化提供了条件。

利用地图研究各种制图现象的动态变化，通常采用两种方法。一种方法是利用地图上已经表示的各个不同时期现象的分布范围和界线进行分析研究；另一种方法是利用不同时期编制出版的同一地区的地图进行分析比较。

第一种方法比较直观和简单。例如，根据水系变迁图上用不同颜色和形状的线状或面状符号表示的不同历史时期河流、湖泊和海岸线的位置、范围，可以直接了解河流改道、湖泊消长、海岸进退的变化，可以从图上量算出变化的幅度。再如，分析用运动符号法表示现象移动的地图，可以直观地看出台风路径、动物迁移、人口流动、货物流向、对外贸易、军事行动等各种现象的动态变化情况。利用不同时期的地图，对同一现象的位置、形状、范围、面积进行对照比较，找出它们之间的差异和变化。其中，不同时期出版的地形图是据以进行对照比较的重要资料。例如，根据不同时期的地形图，可以研究居民地的变动和增加，道路的兴建和等级的提高，水系的变化（如三角洲位置的变化，水库、沟渠的增加），地貌的变化（如雏谷、冲沟的发展，冰川的伸展与退缩，雪线高程的变化等），森林、灌丛、草地、沼泽、沙漠、耕地等的范围、界线和面积的变化等。

分析不同时期编制出版的专题地图，也可以获得一些现象动态变化的情况。例如，对比不同季节和月份或不同时期同一季节和月份的气温、降水量图，可以发现气温、降水量在一年内的变化或不同时期同一季节或月份的变化；对比不同时期环境污染图，可以弄清环境污染状况的动态变化。

利用不同时期摄制的同一地区的航空像片或卫星像片进行对照比较也是一种

很有效的方法。特别是由于卫星重复拍摄的周期较短，因此对照不同时期的卫星照片，可以比较方便地研究地质断裂活动带、火山活动、湖泊沼泽化、河床演变、沙漠移动、水体污染等的动态变化。

研究不同时期的同一地区的地图，不仅可以弄清各种现象变化的趋势和规律，而且可以确定变化的强度和速度。

利用地图研究各种制图现象的动态变化，除采用地图的目视分析法外，还可以将地图（透明材料复制品）叠置比较，或采用地图的量算分析法。

四、利用地图对自然条件、土地资源和环境质量进行综合评价

利用地图对自然条件、土地资源和环境质量进行综合评价，是根据地形图、各种专题地图和统计调查提供的资料和数据，对影响自然条件、土地资源和环境质量的各种因素及其主要指标，按评价标准给出评价值，根据按多因素评价的数学模型算得的总评价值划分等级，做出综合评价图。

进行综合评价必须有明确的目的，因为不同的评价目的，其评价标准也不相同。例如，为农业目的进行自然条件综合评价，其目的在于阐明土地优劣等级，发展农业生产的有利与不利条件和农业生产潜力；土地资源评价的目的，是阐明土地的适应性与土地潜力，划分宜农地、宜林地、宜牧地，并划分若干等级；环境质量综合评价的目的，是揭示区域环境条件的优劣和环境质量的好坏。

评价因素及其指标视评价目的而定。农业自然条件评价选择对农业起主导影响作用的自然条件及其主要指标，一般包括热量和水分、农业土壤和农业地貌条件（每种因素包含若干个指标）。土地资源评价主要选择影响土地质量和生产潜力的各种因素（如土壤质地、厚度、排水系数或对农、林、牧的适宜性）。环境质量综合评价主要选择地表水、底泥、水生物、地下水、土壤、作物等因素测定各种污染元素的含量。

五、利用地图进行预测预报

利用地图进行预测预报已成为科学研究的一种重要方法。它的依据是现象间相互联系的规律和现象发生、发展的规律。利用地图预测预报分为空间预测预报、时间预测预报及空间-时间预测预报。

所谓空间预测预报，就是根据已知地区的现象间的相互联系的规律，采用内插法和外推法对未知地区该种现象的空间分布进行预测，或者是根据某些现象间的相互依赖关系，由已知现象的分布规律推测未知现象的空间分布。对于前者，例如根据已查明的地段矿藏与地质构造方面的联系，分析未知地区地质图所表示的构造与岩层，了解富集矿藏或储油地层的可能性，就可做出矿藏与石油的远景预测，用同样的方法分析含水地层，可预测地下水分布；对于后者，例如根据植

物与岩层、土壤、地下水的密切联系，利用植物地图可以预测矿藏与地下水。

所谓时间序列预测预报，是指预测预报各种现象随着时间的推移而产生的变化。因为有些现象随时间推移而发生的变化具有一定周期性与规律性，所以可以根据不同时期的地图提供的数量指标进行预测预报。例如，利用各月多年平均气温图、降水量图，可大致预测气温、降水的变化趋势；利用风浪图，可大致预测风浪的变化趋势等。

所谓空间-时间预测预报，是指预测预报某些现象随着时间的推移在空间和状态上发生的变化。例如，利用天气图，结合卫星云图，根据大气过程在某一时刻的空间定位和对这些过程发展规律的认识，做出天气预报；对比不同时期的环境污染程度图，可以分析环境污染的发展趋势，做出一个时期环境污染的预测预报。

利用地图预测预报的准确程度，在很大程度上取决于地图原始资料的可靠性和完备性、预测预报现象本身的稳定性、对预测预报现象发展变化规律的认识程度、用来进行预测预报的间接与直接因素同预测预报现象间关系的密切程度、预测预报的期限长短（时间序列预测预报）和外推的远近（空间预测预报）等。

预测预报地图的可靠性程度是各不相同的。据此，可以分为初步预测预报地图（在尚未充分查明预测预报现象的相互联系之前，根据不充分的资料编制而成）、可能预测预报地图（根据比较充分的研究资料，考虑到现象的主要发展趋势、相互联系编制而成）和完全可能预测预报地图（考虑到了能决定所研究现象的位置、数值大小、强度或来临时间的全部或几乎全部的因素编制而成）。

第二节　地图在国民经济建设中的应用

地图对于国民经济建设具有十分重要的意义。

一、利用地图进行区划

区划是根据区域内现象特征的一致性和区域间现象特征的差异性所进行的地域划分，包括自然区划和社会经济区划。自然区划包括地貌区划、气候区划、水文区划、土壤区划、植物区划、动物地理区划等部门区划和综合自然区划；社会经济区划包括农业区划、工业区划、交通运输区划、行政区划、旅游区划等部门区划和综合经济区划。其中农业区划还可以区分为粮食作物区划、经济作物区划、畜牧区划和综合农业区划。

区划工作自始至终离不开地图。一般先做部门区划，然后进行综合区划。区划和区划地图的编制是不可分割的，区划地图往往是利用地图进行区划工作结果的主要表现形式。传统地图分析的工具是模拟地图或纸质地图，包括单张地图、

系列地图或地图集。

二、利用地图进行规划

规划是根据国民经济建设的需要对未来提出的设想和部署。

地图也是制订各种规划不可缺少的工具。利用地图进行全国性或区域性经济建设规划，并编制规划地图，能直观地展现今后发展远景。规划包括部门规划和综合规划，近期规划与远景规划。规划地图可以在表示现状的基础上重点表示今后的发展，以便对照比较。例如，在城市规划图集中，除表示城市现状外，可重点表示城市总体规划、近期建设规划、道路系统规划、给水排水规划、电力电信规划、人防工程规划等。

三、利用地图进行资源的勘察、设计和开发

自然资源地图是专题地图的一个重要领域。矿产资源图、森林资源图、水力资源图、油气资源图和地热资源图等，都是记载资源分布、存储的重要资料，是进行矿产、森林、水力、油气、地热等资源勘察、设计和开发利用的重要依据。当然，这项工作的基础是地形图，尤其是大比例尺地形图。以地图在采矿中的应用为例，进行详细勘探和储量计算要使用1∶2.5万和1∶1万甚至更大比例尺地形图，采掘企业设计要确定企业的生产能力、运输和给排水线路、生活设施等，这些都离不开大比例尺地形图；矿产的开采要利用1∶5000、1∶2000甚至1∶1000比例尺地形图确定开采方向，核定储量，确定施工地点，计算作业量及开采过程的生产管理等。

四、利用地图进行各种工程建设的勘察、设计和施工

修建铁路、公路、水利工程、工厂企业等工程项目的选线、选址、勘察、设计和施工，要采用地形图尤其是大比例尺地形图。例如，在道路的设计中，要利用地形图上的等高线，结合所规划道路的要求（如纵向坡度大小），选择道路线路，确定填、挖土石方数量；在工厂企业的设计中，要根据地形图对厂址用地的地形进行分析，包括确定建筑地域的范围和面积，估计建筑前平整地面的困难程度；为了解决排水问题，确定汇水面积；为了合理利用土地，研究改善土地利用条件需要采取的措施等。

五、利用地图进行农业地籍管理、土地利用和土壤改良

农业地籍管理，土地利用和土壤改良在农业现代化建设中具有重要意义，而这些工作都需要利用大比例尺地形图和相应的专题地图。

第三节 地图在军事上的应用

地图在军事指挥作战方面的作用是很大的。古今中外，许多军事家都非常重视利用地图。管子的《地图篇》中指出的“凡兵主者，必先审知地图”，阐明了地图在军事上的作用和使用地图的方法。我国西汉时期测制的“地形图”和“驻军图”（1973 年在湖南省长沙市马王堆三号汉墓出土，系公元前 168 年的殉葬品），是迄今世界上发现最早的军事地图。现代战争条件下，地图更是不可缺少的工具。炮兵和导弹火箭部队要利用精确地图量算方位、距离和高差，准备射击诸元；空军和海军也要利用地图计划航线、领航和寻找目标，国外的巡航导弹还专门配有以数字地形模型为基础的数字地图，以便自动确定飞行方向、路线和打击目标。

一、提供战区地形资料

各级指挥员所指挥的战区范围大小是不一样的，但都有一个掌握战区全局的问题。由于地图具有将整个战区展示于指挥员面前，起到解决实地视力所不及而又必须统观全局的矛盾的独特作用，而且使用地图不受时间、地点、天气等条件的限制，所以地图在提供战区地形的资料方面所起的作用是其他方法无法替代的。

二、提供战区兵要资料和数据

要掌握战争的主动权，从地图上获得兵要资料和数据是十分重要的，而且这个要求随着各军兵种武器装备的不断改进日趋迫切。如果说早期的战争只需从地图上取得“定性”的资料就基本上够用了，那么现代战争就进而要求提供“定量”的数据。例如，要计划军队的机动，就需要获取道路的类型、等级、路面质量和宽度、通行程度、坡度及弯曲程度等；要计划部队的徒涉和架桥，就需取得河流的流速、水深、底质、河宽等；要部署部队隐蔽和构筑工事用材，就必须知道森林的树种、树的粗度和高度等。所有这些资料和数据从现代地形图上都是可以获得的。

三、提供现地勘察的工具

现地勘察地形是军事指挥员必须进行的战前准备之一，平时军事训练尤其如此。现地使用地形图主要包括确定站立点、按地图行进和研究地形等几个方面。现地用图一般都是大比例尺实测地形图，因为这些地图内容详细，精度高，能够与实地对照，并能在图上进行各种量测。

四、为国防工程的规划、设计和施工提供地形基础

各种国防工程的规划、设计和施工离不开地形图，尤其是大比例尺地形图。使用方法和解决的问题同地图在民用工程勘察、设计和施工中的应用基本相同。

五、提供合成军队作战指挥的共同地形基础

诸军兵种合成军队作战、训练需要统一的协同作战指挥，而地图特别是近些年来编制的协同作战用图能为这种统一的作战指挥提供共同的作战基础，提供统一的位置坐标和高程及统一的坐标网和参考系，保证在实施统一作战指挥时，实现时间、地点和战术协同。

六、提供标图和图上作业的底图

标图和实施图上作业是军队用图的重要方面。

标绘要图是指挥员组织、实施指挥的一种重要方法。将迅速变化着的敌我双方态势标绘在地图上，才能分析动态，制定对策；敌情侦察结果只有标绘在地图上，才能分析敌之兵力部署和火力配系；把首长的决心编绘成要图，较之冗长的文字更简明、清楚；标绘战斗进程状况的战斗经过要图，则是向上级汇报情况、进行战斗总结的依据，即使行军路线、宿营计划也常常是以要图的形式下达。地形图能为标绘要图提供底图，这是因为地形图的比例尺系列和内容等能满足各种标图的需要。

实施图上作业是各军兵种使用地图的一种重要方式。例如，航空图可供航空兵部队在图上计划航线（标出起止机场位置，划出航线，量出方位角，确定沿途检查点，查对沿线最大高程及确定航高等）；大比例尺地形图（大于或等于1∶5万)可供炮兵在图上确定炮位，实施阵地联测及取得射击诸元（方位、距离、位置等)，供工程兵部队规划作业和计算土方工程等。

七、数字地图是现代化武器系统的重要组成部分

巡航导弹等现代化武器系统，在其发射、飞行、瞄准及命中目标的全过程中，都要用到数字地图或数字图像。这叫做地形匹配制导。其基本原理是：导弹到达预定地形匹配制导区后，弹载计算机根据雷达（或激光）测高仪的记录，计算弹导航迹的实时高程断面，并将该高程断面与存储在计算机内的数字高程模型——参考数字地图进行数字序列匹配，确定实际航迹与预定航迹间的偏差，指令自动驾驶仪调整导弹姿态，直至导弹命中目标。

八、数字地图提供对己透明的数字化战场

数字地图是数字化战场的空间数据基础设施，其他一切与军事有关的信息都必须以数字地图作为定位的基础。

以数字地图作为空间数据框架的数字化战场，对己的指挥自动化系统是透明的，对武器是透明的，对作战部队是透明的。例如，据美国国家影像与地图局（NIMA）在因特网上提供的消息，在1999年空袭南联盟的军事行动中，NIMA专门研制了一种计算机化的地图保障系统配属参战部队，其名称叫做“装在匣子中的NIMA”，美国的一支搜索与救援直升机部队正是利用这个“装在匣子中的NIMA”，仅花费90分钟就完成了营救被击落在科索沃西北部地区并被团团包围的一架F-16战斗机的飞行员的过程。